КАРЛЪ РОЗЕНБЕРГЪ.

НАЧАЛЬНЫЙ КУРСЪ ФИЗИКИ.

Изданія „Сотрудника“ для среднихъ учебныхъ заведеній:

Н. и Н. Володкевичъ.

Курсъ практическихъ занятій по физикѣ—ц. 1 руб.

Уч. Ком. Мин. Н. Пр. допущ. въ кач. необяз. учебнаго пособія.

К. Ѳ. Лебединцевъ.

Курсъ алгебры въ двухъ частяхъ—ц. 1 руб. 90 к.

Уч. Ком. Мин. Н. Пр. допущ. въ кач. учебнаго руководства.

Уч. Ком. Мин. Торг. и Пром. допущено въ кач. учебнаго руководства.

Н. П. Слетовъ.

Курсъ прямолинейной тригонометріи — ц. 80 к.

Составленъ по индуктивному методу.

А. О. Филипповъ.

Введеніе въ алгебру. Курсъ 3-го клас. средн. уч. зав.—ц. 40 к.

А. М. Астрябъ.

Наглядная геометрія. (Начальный курсъ)—2-е изд.—ц. 80 к.

И. М. Кукулеско.

Элементарный курсъ химіи—2-е изд.—ц. 80 коп.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. допущ. въ кач. учебнаго руководства.

КАРЛЪ РОЗЕНБЕРГЪ.

53 (075)
Р643

НАЧАЛЬНЫЙ КУРСЪ ФИЗИКИ

Съ 329 рисунками и цвѣтной таблицей спекторовъ.

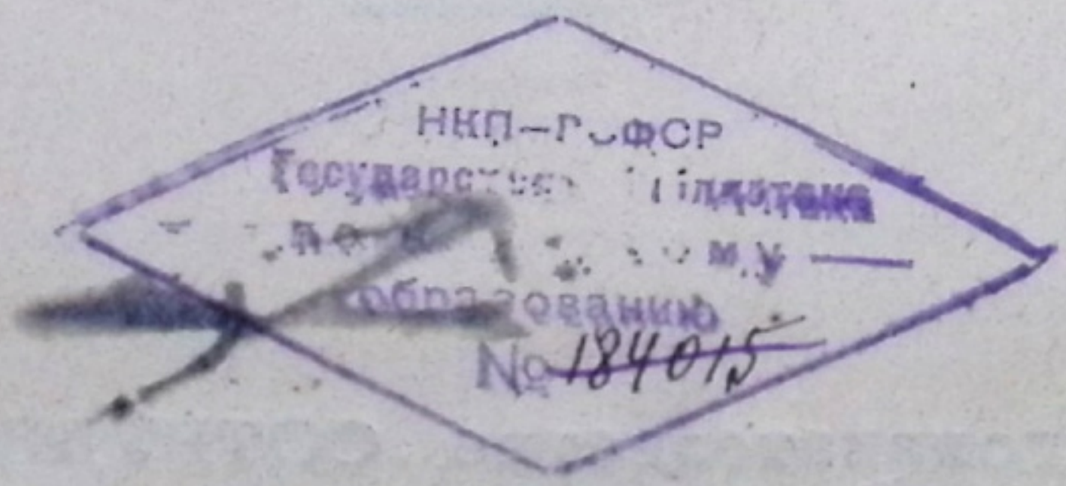
Переводъ со 2-го нѣм. изд. подъ редакціей

П. МАТЮШЕНКО.

Преподав. 1-го Кіевск. Коммерч. Училища.

Книгоиздательство „СОТРУДНИКЪ"
ПЕТЕРБУРГЪ—КІЕВЪ
1911.

209488



Типографія С. Г. Слюсаревскаго, Институтская, 14.
1911.

КОНТРОЛЬНЫЙ

Предисловіе къ русскому изданію.

Предлагаемый „Начальный курсъ физики“ представляетъ переводъ со 2-го нѣм. изданія д-ра Карла Розенберга „Unterstufe der Physik für die höheren Schulen“, автора прекрасной методики физики.

При составленіи этого учебника основными мыслями автора являлись съ одной стороны стремленіе по возможности углубить и упрочить преподаваніе физики въ школѣ и въ особенности использовать тотъ богатый матеріалъ, который даетъ этотъ предметъ для формальнаго развитія ума, а съ другой стороны— облегчить трудное изученіе физики (особенно на 1-ой ступени) всѣми возможными средствами. Вопросы, особенно трудные для юнаго ума, изложены наиболѣе подробно. Чтобы развить въ ученикахъ способность самостоятельно и правильно наблюдать и объяснять явленія, авторъ широко пользуется многочисленными физическими явленіями обыденной жизни. Для упражненія въ пройденномъ предложено много вопросовъ и задачъ. Въ основу изложенія положенъ „опытъ-наблюденіе“ и „экспериментъ“; изложеніе простое и наглядное, формулировка законовъ возможно точная.

Авторъ проводитъ въ своемъ учебникѣ настойчиво тотъ взглядъ, „что лучше дать меньше, но основательно и методически разработанное“.

Переводъ сдѣланъ по возможности ближе къ подлиннику. Выпущено нѣсколько статей, относящихся непосредственно къ математической географіи, такъ какъ съ этими вопросами ученики у насъ знакомятся частью на урокахъ географіи, частью въ курсѣ космографіи. Выпущены также и весьма краткія біографическія свѣдѣнія о дѣятеляхъ науки; намъ казалось, что по своей чрезмѣрной краткости они не могутъ представить интереса для учениковъ.

Въ учебникѣ сохранены вездѣ метрическія мѣры длины, объема и вѣса, при чемъ добавлены въ текстѣ русскія мѣры длины и приложена въ началѣ книги сравнительная таблица мѣръ русскихъ и метрическихъ.

Подобно нѣмецкому изданію учебникъ напечатанъ тремя шрифтами.

Настоящая книга является законченнымъ курсомъ физики 1-ой ступени и по мысли автора имѣетъ въ виду подготовку учениковъ къ высшей, второй ступени курса, согласно плану преподаванія физики въ нѣмецкихъ среднихъ школахъ.

Этотъ учебникъ требуетъ отъ ученика знанія ариѳметики и первоначальныхъ свѣдѣній по геометріи. Поэтому онъ можетъ быть пригоденъ для тѣхъ среднихъ школъ, въ которыхъ введено преподаваніе физики въ 2-хъ концентрахъ.

Какъ самостоятельный учебникъ онъ вполнѣ пригоденъ для женскихъ гимназій, городскихъ 6-классныхъ училищъ и другихъ учебныхъ заведеній, гдѣ введенъ начальный курсъ физики. Благодаря тому, что учебникъ напечатанъ крупнымъ и мелкимъ шрифтомъ, онъ можетъ быть пройденъ, смотря по обстоятельствамъ, въ томъ или иномъ объемѣ.

За всѣ указанія на недочеты, желательныя дополненія и измѣненія будемъ очень благодарны.

П. Матюшенко.

Кіевъ.
1-ое Коммерческое Училище.

Оглавленіе.

Стр.

Предисловіе къ русскому изданію V

Сравнительная таблица мѣръ XI

I. Введеніе . . . . . 1—10

1. Природа; физическія тѣла (1).—2. Протяженность (1).—3. Три главныхъ состоянія тѣлъ (2).—4. Непроницаемость (2).—5. Равномѣрное движеніе (4).—6. Инерція (6).—7. Сила. Опредѣляющіе ее элементы (7).—8. Равновѣсіе. Равныя силы (9).

II. Дѣйствіе силы тяжести . . . . . 10—19

9. Сила тяжести (10).—10. Вѣсъ. Масса (11).—11. Центръ тяжести (11).—12. Виды равновѣсія (12).—13. Рычагъ (13).—14. Равноплечные вѣсы (14).—15. Неравноплечные вѣсы. Безменъ (15).—16. Блокъ (16).—17. Удѣльный вѣсъ (17).—18. Плотность (18).

III. Дѣйствія молекулярныхъ силъ . . . . . 20—25

19. Дѣлимость. Молекулы (20).—21. Молекулярныя силы. Сцѣпленіе (21).—22. Три главныхъ состоянія тѣлъ (21).—23. Виды твердыхъ тѣлъ (23).—24. Прилипаніе (24).

IV. О жидкостяхъ . . . . . 25—38

25. Свойства жидкихъ тѣлъ (25).—26. Передача давленія въ жидкостяхъ (25).—27. Гидростатическое давленіе (27).—28. Давленіе на дно сосуда. Внутреннее давленіе (28).—29.—Давленіе на стѣнки сосуда (30).—30. Сообщающіеся сосуды (32).—31. Законъ Архимеда (34).—32. Положеніе тѣла въ жидкости (35).—33. Ареометръ. Опредѣленіе удѣльнаго вѣса при помощи гидростатическихъ вѣсовъ (36).

V. О газахъ. . . . . . 39—57

34. Свойства газовъ (39).—35. Вѣсъ воздуха и газовъ (39).—36. Давленіе воздуха (40).—37. Опытъ Торичелли. Величина давленія атмосферы (41).—38. Барометръ (43)—39. Героновъ шаръ (45).—40. За-

Стр.

конъ Бойля-Маріотта (46). — 41. Манометръ (49). — 42. Насосы (49).—43. Воздушные насосы (51).—44. Приборы, основанные на давленіи воздуха. Ливеръ (54).—45.—Примѣненіе закона Архимеда къ газамъ (55).

VI. Теплота. . . . . . 57—89

46. Тепловое ощущеніе. Тепловое состояніе. Степень нагрѣтости (57).—47. Расширеніе тѣлъ при нагрѣваніи (58).—48. Термоскопъ (60).—49. Термометръ (61).—50. Особенность расширенія воды (64). 51. Количество тепла (65).—52. Удѣльная теплоемкость (67).—53. Теплопроводность (68).—54. Переносъ теплоты (конвекція) въ жидкостяхъ (70).—55. Переносъ теплоты (конвекція) въ газахъ (70).—56. Тепловое лучеиспусканіе (71).—57. Измѣненіе состоянія тѣлъ подъ дѣйствіемъ теплоты (73).—58. Плавленіе (73).—59. Отвердѣваніе (75).—60. Кипѣніе (76).—61. Зависимость температуры кипѣнія отъ внѣшняго давленія (78).—62. Испареніе (79).—63. Конденсація (82).—64. Атмосферные осадки (84).—65. Паровая машина (85).—66. Источники тепла (87).

VII. Магнитизмъ. . . . . . 89—99

67. Основныя явленія (89).—68. Полярность (89). —69. Магнитное поле (91).—70. Магнитная индукція (92).—71. Меридіанъ. Полуденная линія (96).—72. Магнитное склоненіе (97).—73. Магнитное наклоненіе (98).—74. Земля какъ магнитъ (99).

VIII. Электричество. А) Явленія статическаго электричества . . . . . 100.—153

75. Основныя явленія (100).—76. Передача электричества (101).—77. Положительное и отрицательное электричество (102).—78. Электроскопъ (102).—79. Проводники, непроводники, полупроводники (103).—80. Потенціалъ (106).—81. Распространеніе заряда по поверхности проводника (108).—82. Свойство остроконечій (109).—83. Электрическое вліяніе (электростатическая индукція) (110).—84. Всасывающее дѣйствіе остріевъ (112).—85. Электроформъ (112).—86. Электрическая машина (113).—87. Лейденская банка (115).—88. Дѣйствія электрическаго заряда (118).—89. Атмосферное электричество (121).

Б. Явленія динамическаго электричества (123).—90. Электрическій токъ (123).—91. Элементъ Вольты (125).—92. Батарея Вольты (126).—93. Элементъ и батарея съ хромовой кислотой (127)—94. Тепловыя дѣйствія. Лампочки накаливанія (129).—95. Тепловыя дѣйствія. Вольтова дуга

Стр.

(130).—96. Химическія дѣйствія (131).—97. Примѣненіе электролиза (132).—98. Измѣреніе силы тока. Амперъ. (133).—99. Магнитныя дѣйствія (134).—100. Сопротивленіе (136).—101. Поляризація (136).—102. Непостоянные элементы (138).—103. Постоянные элементы (138).—104. Электромагнитъ (139).—105. Электрическій телеграфъ (141).—106. Электрическій звонокъ (141) —107. Пишущій телеграфъ Морзе (143).—108. Возбужденіе токовъ при помощи магнита (146).—109. Возбужденіе (наведеніе) токовъ токами (147).—110. Индукціонная катушка (147).—111. Динамо-электрическія машины (149).—112. Электрическая передача силы (150).—113. Телефонъ и микрофонъ (151).—114. Термоэлектричество (152).

IX. О движеніи и силахъ . . . . . 153—211

115. Повтореніе основныхъ понятій (153).—116. Виды движенія (154).—117. Равномѣрно ускоренное движеніе и свободное паденіе (156).—118. Подтвержденіе законовъ паденія при помощи опыта (160).—119. Сила, масса и ускореніе (163).—120. Сопротивленіе воздуха (164).—121. Силы (165).—122. Сложеніе и разложеніе движенія. Законъ параллелограма (168).—123. Движеніе тѣла брошеннаго вертикально вверхъ (171).—124. Движеніе горизонтально брошеннаго тѣла (173).—125. Движеніе тѣла, брошеннаго наклонно къ горизонту (174).—126. Сложеніе силъ (174).—127. Разложеніе силъ (177).—128. Движеніе по наклонной плоскости (177).—129. Треніе. Препятствія движенію (180).—130. Движеніе маятника (182).—131. Центробѣжная сила (186).—132. Движеніе около даннаго центра (189).—133. Сложеніе параллельныхъ силъ, направленныхъ въ одну сторону (190).—134. Центръ тяжести (192).—135. Виды равновѣсія. Устойчивость (193).—136. Рычагъ (196).—137. Вѣсы (199).—138. Блокъ и полиспастъ (201).—139. Воротъ (203).—140. Наклонная плоскость, клинъ и винтъ (205).—141. Работа (208).—142. Машина (209).—143. Ударъ (210).

X. О звукѣ (Акустика) . . . . . 211—231

144. Возникновеніе звука (211).—145. Распространеніе звука (213).—146. Сила звука (215).—147. Высота звука. Гамма (216).—148. Тоны натянутыхъ струнъ (218).—149. Звучащіе бруски и пластинки (220).—150. Звучащіе столбы воздуха (221).—151. Скорость звука (225).—152. Отраженіе звука (226).—153. Резонансъ и отзывчивость (228).—154. Органъ слуха (229).

Стр.

XI. О свѣтѣ (Оптика) . . . . . 231—290

155. Свѣтъ. Источникъ свѣта (231).—156. Прямолинейное распространеніе свѣта. Скорость распространенія свѣта (231).—157. Тѣнь (232).—158. Фазы луны (234).—159. Затменія (235).—160. Камера-обскура (237).—161. Сила освѣщенія. Сила свѣта (237).—162. Отраженіе свѣта (239).—163. Зеркало (242).—164. Сферическія зеркала (245).—165. Вогнутое сферическое зеркало (245).—166. Построеніе изображеній для вогнутыхъ сферическихъ зеркалъ (249).—167. Изображенія въ вогнутыхъ зеркалахъ (251).—168. Выпуклое сферическое зеркало (252).—169. Построеніе изображеній для выпуклаго сферическаго зеркала (254).—170. Преломленіе свѣта (255).—171. Полное внутреннее отраженіе (258).—172. Плоскопараллельная пластинка (260).—173. Призма (261).—174. Сферическія стекла или линзы (262).—175. Выпуклыя линзы (262).—176. Построеніе изображеній въ выпуклыхъ линзахъ (265).—177. Изображенія, получаемыя при помощи линзъ (266).—178. Вогнутыя линзы (268).—179. Глазъ. Человѣческій глазъ (270).—180 Зрѣніе (270)—181. Прямое зрѣніе (271).—182. Одиночное видѣніе. Почему мы не видимъ предметовъ вдвойнѣ (271).—183. Тѣлесное, рельефное видѣніе (271).—184. Видимая величина предметовъ (272).—185. Продолжительность свѣтового впечатлѣнія (272).—186. Способность приспособленія (аккомодація) (273).—187. Нормальный, близорукій и дальнозоркій глазъ (273).—188. Очки (274).—189. Микроскопъ (275).—190. Зрительныя трубы (277).—191. Разложеніе свѣта на цвѣта или цвѣтное свѣторазсѣяніе (280).—192. Цвѣта тѣлъ (282).—193. Радуга (283).—194. Химическія дѣйствія свѣта (286).—195. Фотографія (287).

Алфавитный указатель . . . . . 291—294

Замѣченныя опечатки:

		Напечатано.	Должно быть.
Стр.	Строка.		
5	16 св.	промежутки	промежутки времени
76	17 сн.	соль	и посыпанныхъ солью
121	4 св.	обкладкой	обкладкой лейденской банки
150	24 св.	изобрѣтенъ	примѣненъ
196	16 сн.	поперечнаго	поперемѣннаго
208	7 сн.	20 саж.	20 цт.
211	9 св.	дара	удара

Сравнительная таблица важнѣйшихъ русскихъ и метрическихъ мѣръ.

Линейныя единицы.

а) Русскія.

Дюймъ=10 линій=**2,54 цт.**
Вершокъ=$1^3/_4$ дюйм.=**4,45 цт.**
Футъ=12 дюйм.=**30,5 цт.**
Аршинъ=16 верш.=28 дюйм.=**=0,711 мт.**
Сажень=3 ар.=7 фт.=**2,13 мт.**
Верста=500 саж.=$\frac{16}{15}$ **километр.**

б) Метрическія.

Метръ=10 дм.=100 цт.=1000 мм.=22,5 верш.=**3,28 фт.**
Дециметръ=0,328 фт. ($^1/_3$ фут. или 4 дм.)
Центиметръ=0,394 д. (0,4 или $^2/_5$ дюйм.).
Миллиметръ=0,394 лин. ($^2/_5$ лин.)
Километръ=1000 мтр.=$\frac{15}{16}$ **вер.**

Квадратныя единицы (поверхности).

Квадр. сажень=9 кв. арш.=**4,55 мт²**
Квадр. аршинъ=**0,506 мт²**
Квадр. дюймъ=**6,45 цт²**

Квадр. метръ=**1,98** кв. арш. (округл. 2 кв. ар.)

Мѣры объема.

Куб. футъ=**28,32 дц³** ($28^1/_3$ дц³).
Куб. аршинъ=**0,36 мт³**
Куб. сажень=**9,71 мт³**
Ведро=$750^1/_2$ куб. дм=**12,3 литра** (вмѣщ. 30 фн. воды).

Куб. метръ=**35,31 фт³.**
Куб. дециметръ=1 литръ=**61 дм³** (вмѣщаетъ 1000 цт³ воды =вѣсу 1 килогр.)

Единицы вѣса.

Фунтъ=вѣсу 25 дм³ воды=**=409,5 грамма.**

Пудъ=вѣсу 1000 дм³=**16,4 кгр.** (16 килгр.)

Граммъ=вѣсу 1 цт³ воды при 4°C=$\frac{1}{410}$ (около $^1/_4$) золотн.
Килограммъ=вѣсу 1 литра воды при 4°C=1000 гр=**2,44 фн.** (около $2^1/_2$ фн.)
Тона=1000 килогр.=**61 пуд.** (60 пуд.)

I. Введеніе.

---

1. **Природа; физическія тѣла.** При помощи нашихъ пяти чувствъ (зрѣнія, слуха, осязанія, обонянія и вкуса) мы воспринимаемъ окружающія насъ различныя вещи и познаемъ ихъ разнообразныя свойства.

Такъ, при помощи органовъ зрѣнія—**глазъ**—мы знакомимся съ формой, цвѣтомъ, блескомъ предметовъ и т. п.; кромѣ того мы видимъ, гдѣ находится та или другая вещь. Осязаніемъ мы узнаемъ гладкая-ли вещь или шероховатая, холодная или теплая; осязаніе-же помогаетъ намъ ознакомиться съ формой и мѣстонахожденіемъ вещи. Что мы узнаемъ при помощи остальныхъ чувствъ?

Совокупность всего, что мы воспринимаемъ при помощи нашихъ чувствъ, мы называемъ **вещественнымъ міромъ** или **природой.** Всѣ познаваемыя при помощи чувствъ вещи мы называемъ **физическими тѣлами.**

Мы различаемъ живыя, организованныя тѣла или организмы (животныя и растенія) и тѣла неживыя, неорганизованныя. Назовите различныя тѣла и укажите, что мы о нихъ знаемъ благодаря нашимъ пяти чувствамъ!

2. **Протяженность.** Каждое физическое тѣло выполняетъ своимъ веществомъ ограниченную со всѣхъ сторонъ часть пространства. Поэтому мы говоримъ: всѣ тѣла протяженны, они обладаютъ **протяженностью.**

Геометрическія тѣла также протяженны; но они однако не имѣютъ матеріи, между тѣмъ, какъ всѣ физическія тѣла всегда состоятъ изъ опредѣленнаго вещества.

Часть пространства, занимаемая тѣломъ, называется его **объемомъ**; смотря по тому, какъ эта часть пространства отграничена отъ всего остального, мы говоримъ о той или другой **формѣ** тѣла. Мы знаемъ изъ геометріи, что объемъ измѣряется при помощи мѣръ объема. За единицу объема въ физикѣ обыкновенно берутъ кубическій центиметръ (**цт**^{3}). Центиметръ равенъ $^1/_{100}$ ме-

тра (м), а послѣдній опредѣляется, какъ длина образца, хранящагося въ архивѣ въ Севрѣ, вблизи Парижа и называемаго поэтому „архивнымъ метромъ“.

1 метръ = 10 дециметрамъ = 100 центиметрамъ = 1000 миллиметр.; 10 метровъ = 1 декаметру; 100 метр. = 1 гектометру; 1000 метровъ = 1 километру.

Метръ равенъ приблизительно 22½ вершкамъ.

1 километръ почти равенъ верстѣ; 1 дюймъ равенъ почти 2½ центиметр.

Русскія единицы длины:

верста = 500 саженямъ,
сажень = 3 аршинамъ = 7 футамъ,
аршинъ = 16 вершкамъ,
футъ = 12 дюймамъ,
дюймъ = 10 линіямъ.

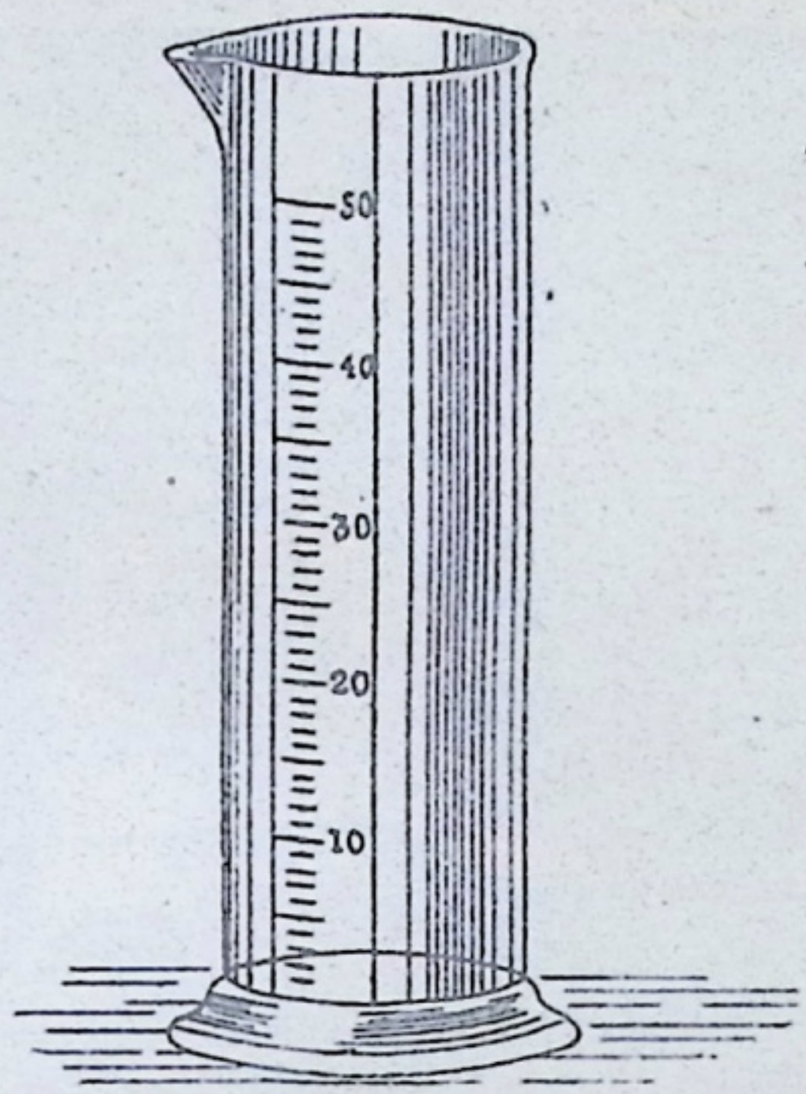
Метръ равняется съ достаточно большимъ приближеніемъ одной сорокамилліонной части земного меридіана. Сколькимъ километрамъ равенъ меридіанъ?— Повтореніе мѣръ длины, поверхности и объема. — Назовите тѣла очень большого объема и очень маленькаго. — Назовите тѣла изъ одного и того-же вещества, но различной формы! Назовите тѣла изъ различнаго вещества, но одинаковой формы.

3. **Три главныхъ состоянія тѣлъ.** Одни тѣла, какъ мы замѣчаемъ, сохраняютъ постоянно своій объемъ и свою форму, таковы напр. металлы, камни и т. п. Мы называемъ ихъ **твердыми** тѣлами. Другія — какъ напр. вода, спиртъ, керосинъ и т. п. — не измѣняютъ своего объема, но принимаютъ всегда форму сосуда, въ которомъ они находятся. Ихъ называютъ **жидкими** тѣлами. Наконецъ, мы знаемъ и такія тѣла, какъ напр. воздухъ, которымъ дышемъ, свѣтильный газъ и т. п., которыя не сохраняютъ ни формы, ни объема. Они заполняютъ все то пространство, въ которомъ заключены, и, слѣдовательно, принимаютъ его форму и въ томъ случаѣ, если мы его увеличимъ или уменьшимъ. Эти тѣла называются **газообразными** или газами. Всякое физическое тѣло находится въ одномъ изъ этихъ трехъ состояній, которыя мы называемъ **состояніемъ матеріи.**

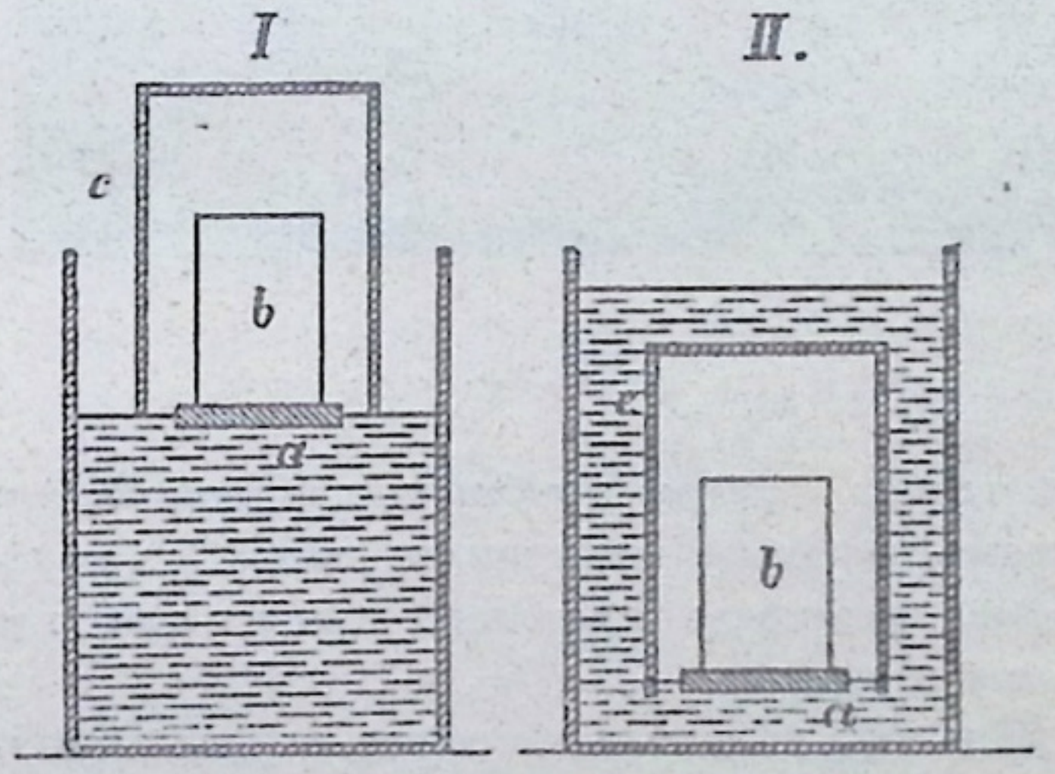
Назовите различныя тѣла и укажите ихъ состояніе! Знаете ли вы тѣла, которыя бываютъ не только въ одномъ изъ этихъ состояній.

4. **Непроницаемость.** Если пожелаемъ помѣстить какое нибудь тѣло тамъ, гдѣ уже находится другое, то послѣднее прійдется удалить или вытѣснить.

Напримѣръ, мы не можемъ положить карандашъ на то мѣсто, гдѣ лежитъ книга, не удаливши послѣднюю. Вбивая гвоздь въ стѣну, видимъ, какъ выпадаютъ куски штукатурки и кирпича. — Возьмемъ такъ называемый измѣрительный цилиндръ (мензурку) (фиг. 1), наполнимъ его подкрашенной водой до дѣленія 30 и погрузимъ въ воду кусокъ минерала, напр. горнаго хрусталя, прикрѣпленнаго на тонкой проволокѣ; видимъ, что вода въ цилиндрѣ поднялась. Пусть уровень ея находится теперь на 45-омъ дѣленіи; что же можемъ отсюда заключить? Если удалимъ нашъ минералъ, а затѣмъ нальемъ въ стаканъ немного ртути, уровень воды снова повысится. Укрѣпимъ теперь на пробкѣ *a* (фиг. 2) прямоугольный кусокъ бумаги *b* въ видѣ паруса и пустимъ пробку на воду. Возьмемъ затѣмъ пустой стаканъ *c*, накроемъ имъ нашу пробку съ парусомъ такъ, чтобы край стакана касался поверхности воды (I), и станемъ его опускать. Вода не проникнетъ въ стаканъ: поднявъ его, можемъ убѣдиться, что его внутреннія стѣнки и бумажка остались совершенно сухими. Если наклонимъ стаканъ, когда онъ находится въ положеніи II, то съ нижняго края станутъ подниматься пузырьки воздуха; поставивъ его отвѣсно, замѣтимъ, что теперь въ него проникло немного воды. Если поставимъ на дно большого стакана (фиг. 2), наполненнаго до половины водой, металлическую гирю и теперь станемъ погружать стаканъ *c*, какъ мы это уже дѣлали, то увидимъ, что изъ стакана поднимаются пузырьки воздуха, какъ только гиря войдетъ внутрь его.



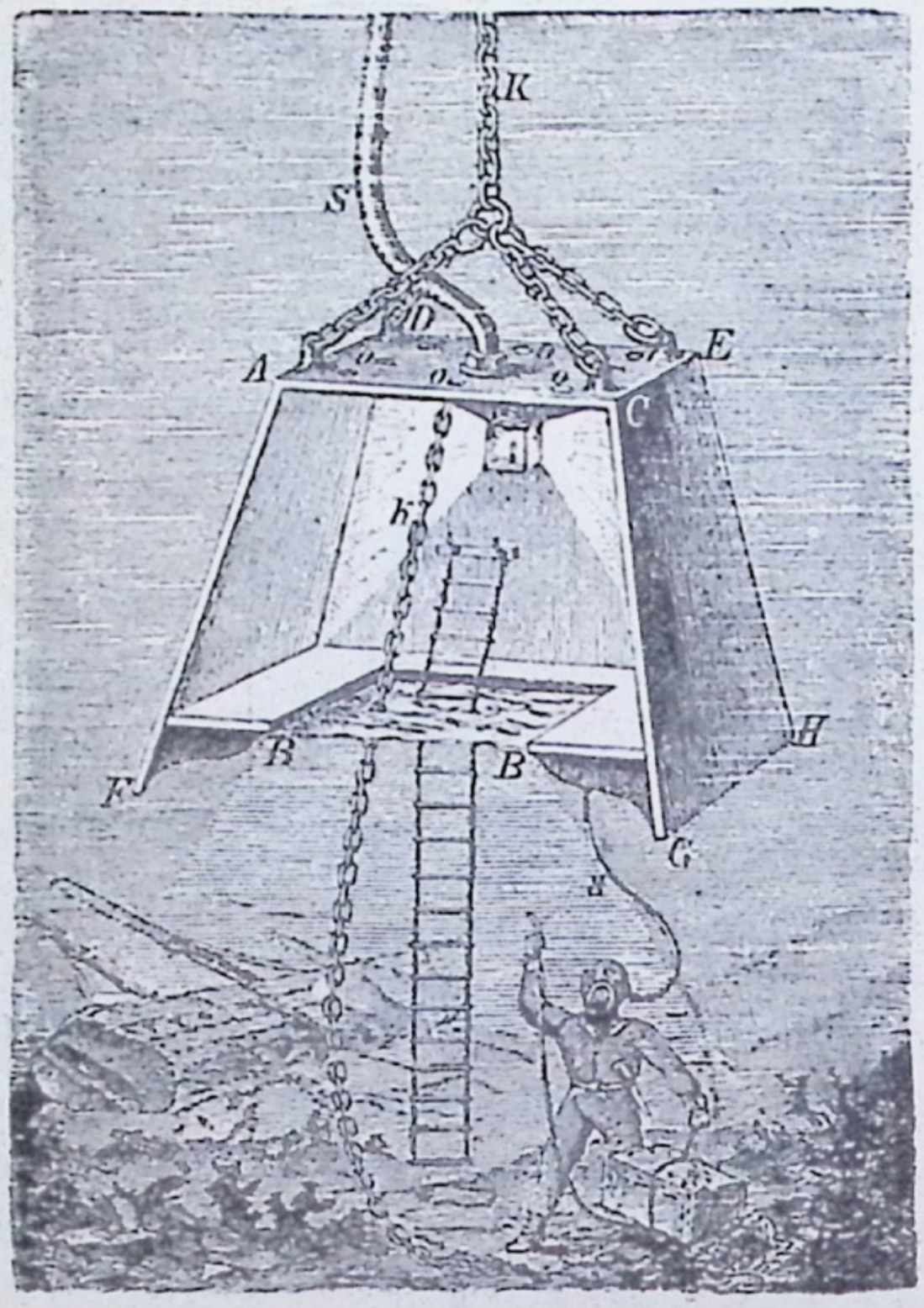
Фиг. 1.



Фиг. 2.

Всѣ эти опыты учатъ насъ, что вещество каждаго тѣла такъ заполняетъ занимаемое имъ пространство, что въ одномъ и томъ же мѣстѣ, въ одно и то-же время никогда не могутъ находиться два различныхъ тѣла. Это свойство, присущее всѣмъ тѣламъ, мы называемъ **непроницаемостью** (несовмѣщаемостью).

На непроницаемости воздуха основанъ водолазный колоколъ (фиг. 3). Онъ имѣетъ видъ колоколообразнаго, снизу открытаго ящика. На нашемъ рисункѣ его передняя стѣнка представлена удаленной для того, чтобы мы могли разсмотрѣть внутреннее устройство. Въ крышкѣ, въ мѣстахъ, обозначенныхъ буквой *o*, вставлены прочныя стекла, черезъ которыя въ колоколъ проникаетъ свѣтъ. Около *B* мы видимъ скамейки для водолазовъ. Черезъ трубку *S*, проведенную сквозь крышку, въ колоколъ нагнетается съ корабля воздухъ; излишекъ воздуха пузырьками поднимается съ нижняго края колокола. Весь снарядъ подвѣшенъ на цѣпи K. При помощи колокола можно подымать со дна утонувшіе предметы, различныя морскія растенія, животныя и т. п. Вслѣдствіе сильнаго давленія воды колоколъ нельзя опускать глубже, чѣмъ на 60 метровъ. Для водолазныхъ работъ употребляются особые (такъ называемые скафандръ-аппараты) водолазные костюмы, сдѣланные изъ резины, чтобы не пропускали воду, герметически закрывающіеся и снабженные металлическимъ шлемомъ (см. фиг. 3) со стеклами передъ глазами. Воздухъ для дыханія проводится въ шлемъ черезъ особую трубку изъ колокола или-же изъ резервуара со сжатымъ воздухомъ, который носится на спинѣ въ родѣ ранца. — Въ послѣднее время водолазные колоколы примѣняются и при возводимыхъ въ водѣ постройкахъ (кессоны).



Фиг. 3.

Почему, наполняя бутылку черезъ воронку, нельзя плотно закрывать ею отверстіе бутылки? — Какъ нужно держать воронку? — Въ песчанныхъ формахъ для отливки металловъ обыкновенно дѣлаютъ отверстія для воздуха; зачѣмъ? — Что будетъ, если въ наполненный до верху стаканъ чая бросимъ нѣсколько кусковъ сахара?

5. **Равномѣрное движеніе** *a*) Разсматривая окружающія тѣла, мы видимъ, что они, или сохраняютъ свое положеніе, или мѣняютъ его. Въ первомъ случаѣ говоримъ: тѣла находятся въ **покоѣ**, въ послѣднемъ—тѣла находятся въ движеніи, **движутся**. Значитъ движеніе это есть измѣненіе мѣста, а покой—пребываніе въ одномъ и томъ же мѣстѣ.

Станемъ двигать кусокъ мѣла, касаясь его концомъ доски; онъ оставитъ на доскѣ слѣдъ, отмѣчающій намъ всѣ тѣ мѣста, въ которыхъ былъ при движеніи конецъ мѣла. Эту совокупность мѣстъ мы обозначаемъ, какъ **путь** движущагося тѣла. Путь тѣла можетъ быть прямолинейнымъ (напр. путь камня, который мы держали въ рукѣ и затѣмъ сразу выпустили такъ, что онъ падаетъ на землю) или криволинейнымъ (напр. путь камня, брошеннаго наклонно вверхъ). **Направленіе движенія** остается въ первомъ случаѣ неизмѣннымъ, во второмъ оно постоянно мѣняется.

b) Остріе минутной стрѣлки часовъ описываетъ въ теченіе 60 минутъ полный кругъ, при томъ такъ, что въ каждую минуту оно подвигается впередъ на одну и ту же длину окружности (а именно на длину одной шестидесятой части всей окружности). Такое движеніе, въ которомъ движущееся тѣло проходитъ въ равные произвольные промежутки равной длины пути, называется **равномѣрнымъ движеніемъ.** Часовая стрѣлка тоже движется равномѣрно. (Почему?). Если представимъ себѣ ее такой-же длины, какъ и минутную, то ея остріе пройдетъ въ часъ одну двѣнадцатую окружности, а въ минуту одну двѣнадцатую часть одной шестидесятой, т. е. только $^1/_{720}$ всей окружности. Мы говоримъ, что конецъ минутной стрѣлки движется скорѣе, чѣмъ конецъ часовой, потому что первый проходитъ въ опредѣленный промежутокъ времени (часъ, минуту, секунду) большій (въ 12 разъ) путь, чѣмъ второй въ тотъ-же промежутокъ времени. Путь, который проходитъ въ одну секунду равномѣрно-движущееся тѣло, называемъ **скоростью** его движенія.

		Метровъ въ секунду
Скорость пѣшехода	равна	0,8 — 1,6
„ всадника, ѣдущаго шагомъ	„	1,1
„ „ „ рысью	„	2,1
„ „ „ въ галопъ	„	4,5
„ „ „ въ карьеръ	„ . . . до	25
„ велосипедиста	„	15
„ поѣзда	„	10 — 25
„ океанскаго пасажирскаго парохода	„	10 — 11
„ сильнаго вѣтра	„	30 — 40
„ почтоваго голубя въ среднемъ	„	18 — 25
„ пули изъ ружья	„ . . .	300 — 650
„ снаряда изъ пушки	„ . . .	420 — 750

c) Если пѣшеходъ проходитъ въ одну секунду 1,2 м., то въ двѣ сек. онъ пройдетъ дважды 1,2 м., въ три сек.—трижды

1,2 м. — въ t сек. — t разъ 1,2 м. Итакъ, мы можемъ вычислить путь, пройденный при равномѣрномъ движеніи, если умножимъ скорость движенія на число единицъ времени (секундъ), въ теченіе которыхъ движеніе совершалось. Если c выражаетъ скорость въ метрахъ въ одну секунду, t — время въ секундахъ, а s — пройденный путь въ метрахъ, то на основаніи нашего разсужденія можемъ написать формулу:

$$s = c \cdot t.$$

Такъ какъ мы знаемъ изъ ариѳметики, что произведеніе двухъ чиселъ, дѣленное на одно изъ нихъ, даетъ въ частномъ другое, то изъ написанной формулы выводимъ двѣ другія, а именно

$$c = \frac{s}{t} \text{ и } t = \frac{s}{c}.$$

Выразите эти формулы словами! — Выборъ буквъ c, t и s объясняется тѣмъ, что онѣ представляютъ начальныя буквы латинскихъ словъ celeritas = скорость, tempus = время и spatium = путь.

Какую скорость имѣетъ тѣло, находящееся въ покоѣ?

Задачи 1. Какой путь пройдетъ поѣздъ въ 3 часа, если въ 1 секунду онъ проходитъ 15 м? — 2. Сколько проѣдетъ въ минуту всадникъ галопомъ?— 3. Какъ далеко залетитъ снарядъ изъ пушки (скорость его = 450 м въ сек.) за 4,8 сек?— 4. Съ какой скоростью идетъ пѣшеходъ, проходящій 1 км въ 12 минутъ? — 5. Курьерскій поѣздъ приходитъ изъ Вѣны въ Парижъ (1351 км) въ 24 часа; какъ велика его средняя скорость? — 6. Во сколько времени прибудетъ поѣздъ изъ Берлина въ Шпандау (12 км), если скорость его равна 12 м въ сек? — 7. Какъ велика скорость точки на земномъ экваторѣ, если примемъ во вниманіе только суточное вращеніе земли, а окружность земли будемъ считать равной 40000 км? (сравните результатъ съ числами вышеприведенной таблицы!). — 8. Какъ долго идетъ океанскій пароходъ (c = 10 м въ сек.) изъ Гамбурга въ Нью-Іоркъ (6800 км)? 9. Земля проходитъ вокругъ солнца путь длиной въ 931 милліонъ километровъ въ 365 дней 6 часовъ 9 минутъ 10,75 секундъ. Какъ велика ея средняя скорость въ 1 секунду (вычислить до перваго десятичнаго знака)? — 10. Какъ долго летѣлъ бы снарядъ (c = 450 м въ сек.), чтобы пройти путь, равный разстоянію луны отъ земли (385000 км). и какъ долго, чтобы пройти разстояніе отъ земли до солнца (150 милліоновъ километровъ)?

6. **Инерція.** Тѣло, находящееся въ покоѣ, не можетъ само по себѣ начать двигаться. Для этого всегда нужно какое-нибудь внѣшнее воздѣйствіе. Желѣзный шаръ, лежащій на горизонтальномъ столѣ, покоится до дѣхъ поръ, пока его не толкнемъ или же не приблизимъ магнитъ и. т. п., однимъ словомъ, пока не произойдетъ какое-нибудь внѣшнее воздѣйствіе.

Наоборотъ, движущееся тѣло не можетъ само собой перейти въ состояніе покоя и не можетъ само по себѣ

измѣнить величину или направленіе скорости (направленіе движенія), съ которой движется. Всякое подобное измѣненіе, если оно наступитъ, мы припишемъ внѣшнимъ воздѣйствіямъ. Поэтому, если тѣло, скользящее по гладкой, горизонтальной поверхности льда, движется все медленнѣе и медленнѣе и наконецъ останавливается, то причина этому треніе, неизбѣжное и при гладкой поверхности, и сопротивленіе воздуха (своего рода внѣшнія воздѣйствія), которыя измѣняютъ скорость.

Оба разсмотренныхъ факта можемъ соединить въ слѣдующемъ положеніи: Физическія тѣла не могутъ сами по себѣ измѣнять скорость движенія и направленіе движенія; они сохраняютъ ихъ до тѣхъ поръ, пока ихъ не измѣнитъ какое-нибудь внѣшнее воздѣйствіе. (**Законъ косности или инерціи**. Галилей[1]) 1638).

Согласно этому положенію тѣло, находящееся въ покоѣ, а значитъ, имѣющее скорость нуль, сохраняетъ ее, т. е. остается въ покоѣ. Тѣло, которое движется, а значитъ имѣетъ нѣкоторую скорость, отличную отъ нуля, сохраняетъ ее неизмѣнной по величинѣ и по направленію: оно движется дальше равномѣрно и прямолинейно.

Если вагонъ сразу двинется впередъ, то всѣ сидящіе въ немъ отклоняются верхней частью туловища назадъ. Почему? Что случится, если быстро движущійся вагонъ внезапно остановится? Быстро бѣгущій человѣкъ не можетъ сразу остановиться. Споткнувшись, онъ всегда падаетъ впередъ. Почему? Почему всадникъ перелетаетъ черезъ голову лошади, если она сразу остановится на бѣгу? Почему человѣкъ, выскакивающій изъ быстроѣдущаго вагона, падаетъ на землю? Въ какомъ направленіи нужно спрыгивать? Что дѣлаютъ когда вырыгиваютъ въ вагонъ? Если передвинемъ слишкомъ быстро на плитѣ почти полный сосудъ съ жидкостью, то часть содержимаго выльется черезъ край. Въ какую сторону она выльется? Почему монета, лежащая на картѣ какъ разъ надъ горлышкомъ бутылки, падаетъ внутрь ея, если быстро выдернемъ карту? Почему непрочно держащееся топорище насаживается на рукоятку, когда ударимъ ею о что-нибудь? Почему чернила стряхиваются съ пера? Какъ объяснить стряхиваніе фруктовъ съ деревьевъ? Можетъ ли вагонъ, стоящій на рельсахъ, самъ собою прійти въ движеніе? Если онъ катится, то что нужно сдѣлать для его остановки? Чѣмъ объясняется разрушительное дѣйствіе столкновенія поѣздовъ?

7. **Сила. Опредѣляющіе ее элементы.** *a*) Всякая причина, которая вызываетъ движеніе тѣла или же измѣняетъ уже существующее движеніе, называется **силой.**

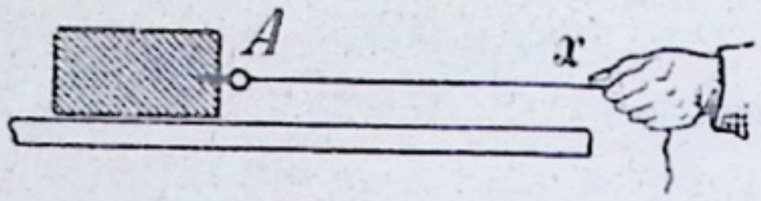
---

[1]) Галилео **Галилей** родился въ 1564 г. въ Пизѣ, умеръ въ 1642 г. въ Арцетри. Былъ профессоромъ математики въ Пизѣ, Падуѣ и Флоренціи. Его замѣчательныя открытія и работы касаются большинства отдѣловъ физики.

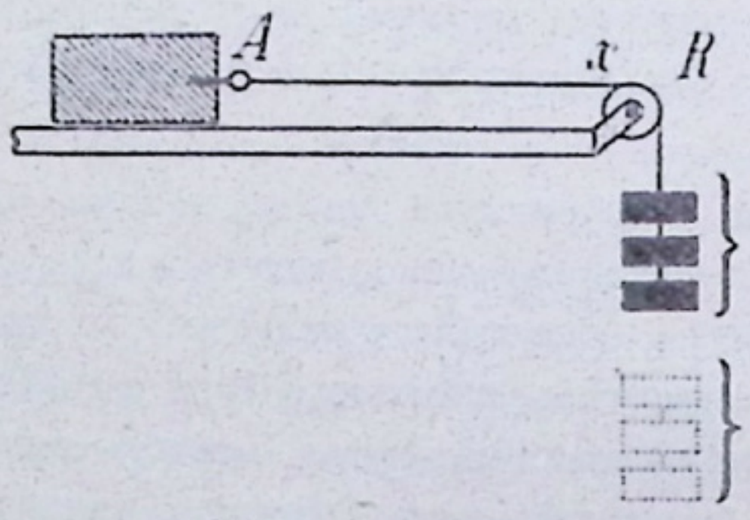
Примѣромъ силъ могутъ служить: мускульная сила человѣка и животныхъ, сила текущей воды и вѣтра, сила пара, притягательная сила магнита и т. п. Камень, если поднимемъ его съ земли, а затѣмъ пустимъ, движется къ землѣ—падаетъ. Земля говоримъ мы, дѣйствуетъ на камень, какъ сила.

Приведите примѣры изъ обыденной жизни, чтобы показать, что названныя силы въ состояніи вызвать движеніе или же измѣнить существующее.

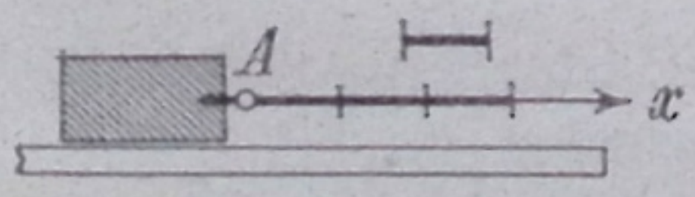
b) На столѣ (фиг. 4) лежитъ тѣло, напр. деревянный брусокъ, въ который ввинчено желѣзное кольцо *A*; къ кольцу прикрѣплена веревка, за которую можемъ тянуть; тѣло подъ дѣйствіемъ тяги движется отъ *A* къ *x*. Въ данномъ случаѣ мы, благодаря нашимъ мускуламъ, подѣйствовали съ нѣкоторой силой на тѣло. Такое-же движеніе можемъ ему сообщить, если къ краю стола прикрѣпимъ роликъ *R*. (фиг. 5) и, перекинувъ черезъ него веревку, привѣсимъ къ ея концу возможно тяжелый предметъ, напр. 3 гири по килограмму. Какъ и въ прежнемъ случаѣ на тѣло теперь дѣйствуетъ сила. Въ каждомъ случаѣ сила сперва стремится привести въ движеніе желѣзное кольцо; если бы оно не было скрѣплено съ тѣломъ, то оно само пришло бы въ движеніе отъ *A* къ *x* подъ дѣйствіемъ силы. Ту точку, которую сила непосредственно стремится привести въ движеніе, мы называемъ **точкой приложенія** силы. Прямая линія, (на фиг. 4 и 5 — прямая *Ax*), вдоль которой сила стремится двигать точку приложенія, опредѣляетъ **направленіе** ея. Подвѣсимъ на шнуркѣ (фиг. 5) вмѣсто 3-хъ килограммовыхъ гирь 6 такихъ-же, передвиженіе тѣла станетъ быстрѣе. Мы говоримъ, что сила, которую мы теперь приложили, въ два раза больше прежней, такъ какъ она вызвана грузомъ въ 2 раза по 3 килограмма.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

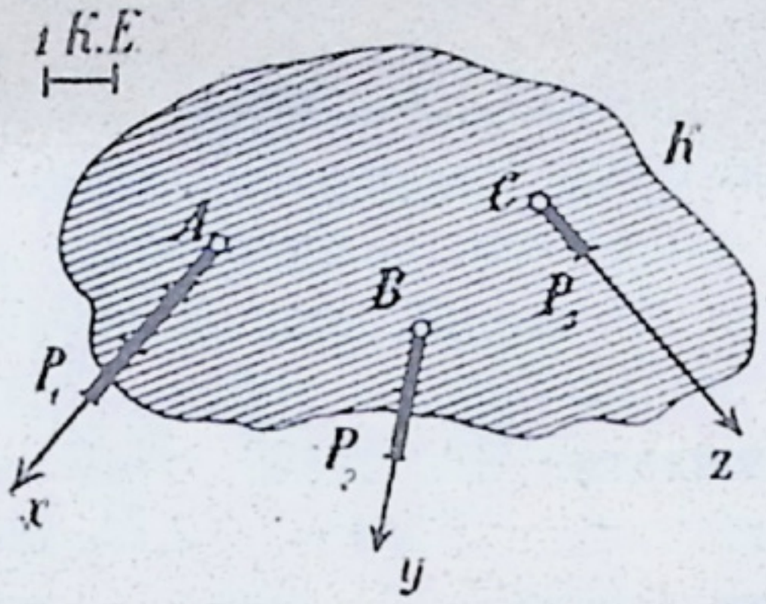


Фиг. 6.

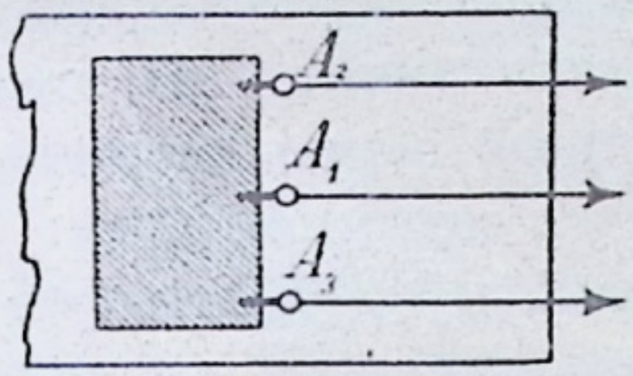
Силы, съ которыми мы дѣйствовали на тѣло (мускульная сила, тяга трехъ килограммовъ), могутъ быть изображаемы такъ, какъ это сдѣлано на фиг. 6. Мы видимъ тамъ всѣ три элемента, опредѣляющіе силу: точку

приложенія A, направленіе силы Ax и, наконецъ, величину (напряженность) силы, а именно, представляющій силу отрѣзокъ заключаетъ въ себѣ три единицы длины соотвѣтственно тому, что сила равна тремъ единицамъ силы.

Что мы видимъ на рис. 7? — Если изъ трехъ элементовъ, опредѣляющихъ силу, измѣнимъ хоть одинъ, то дѣйствіе силы измѣнится. Такъ, если заставимъ силу дѣйствовать не на середину бруска A_1 (на фиг. 8 мы видимъ брусокъ сверху), а въ точкѣ



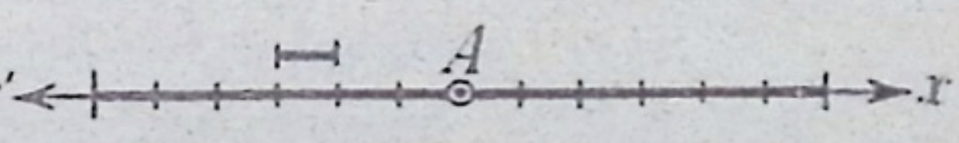
Фиг. 7.



Фиг. 8,

A_2 или A_3, то движеніе будетъ имѣть сначала другой характеръ. (Что-же именно произойдетъ?) — Тѣло будетъ двигаться въ различныхъ направленіяхъ, если станемъ закрѣплять роликъ въ различныхъ мѣстахъ стола. Наконецъ, какъ уже было упомянуто, движеніе будетъ происходить съ различной скоростью, если измѣнимъ число подвѣшенныхъ гирь.

8. **Равновѣсіе. Равныя силы.** *a*) Если на тѣло дѣйствуетъ одна только сила, то она при отсутствіи **препятствій** движенію (§ 6)—всегда приведетъ тѣло въ движеніе. Если же на него дѣйствуютъ двѣ (или больше) силы, изъ которыхъ каждая могла бы заставить его двигаться, то въ нѣкоторыхъ случаяхъ тѣло можетъ остаться въ покоѣ. Мы говоримъ тогда: силы находятся въ **равновѣсіи**, онѣ уравновѣшиваютъ другъ друга.



Фиг. 9.

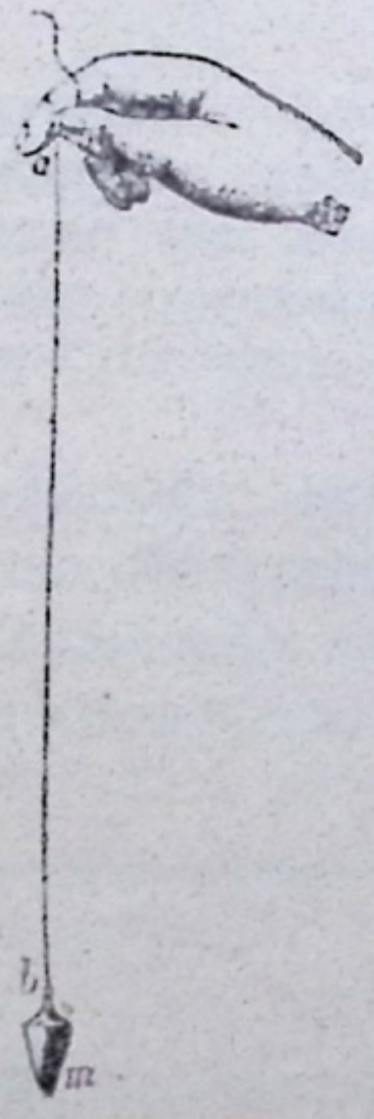
Положимъ камень на горизонтально вытянутую руку; на него дѣйствуетъ сила притяженія земли, которая стремится сообщить ему движеніе внизъ, а мускульная сила руки старается приподнять его вверхъ. Камень остается въ покоѣ. Если прикрѣпимъ къ кольцу двѣ веревки и два одинаково-сильныхъ мальчика станутъ тянуть за нихъ въ противоположныя стороны, то кольцо останется въ покоѣ.

b) Въ описанныхъ случаяхъ двѣ силы не производятъ никакого дѣйствія; онѣ находятся въ равновѣсіи. Такъ

какъ мы можемъ судить о силѣ только по ея дѣйствію, то мы должны эти двѣ силы считать равными и приходимъ поэтому къ слѣдующему положенію: Двѣ силы **равны**, если онѣ взаимно уравновѣшиваются, будучи приложены въ противоположныхъ направленіяхъ къ одной точкѣ (фиг. 9).

II. Дѣйствіе силы тяжести.

9. **Сила тяжести**. *a*). Если подымемъ со стола, съ пола, съ земли какой-нибудь предметъ и выпустимъ его изъ руки, то онъ движется внизъ. Мы говоримъ: онъ падаетъ на землю. Причиной этого движенія (§ 7) мы считаемъ силу притяженія, съ которой земля дѣйствуетъ на всѣ тѣла (и на насъ самихъ), и называемъ ее **силой тяжести**. Дѣйствіе этой силы обнаруживается въ стремленіи всѣхъ тѣлъ падать по направленію къ землѣ, иначе — въ ихъ **тяжести**. Вслѣдствіе тяжести тѣло, или дѣйствительно **падаетъ**, если оно свободно, или же **давитъ** на подставку, которая его поддерживаетъ, или же **тянетъ** то, на чемъ оно подвѣшено.

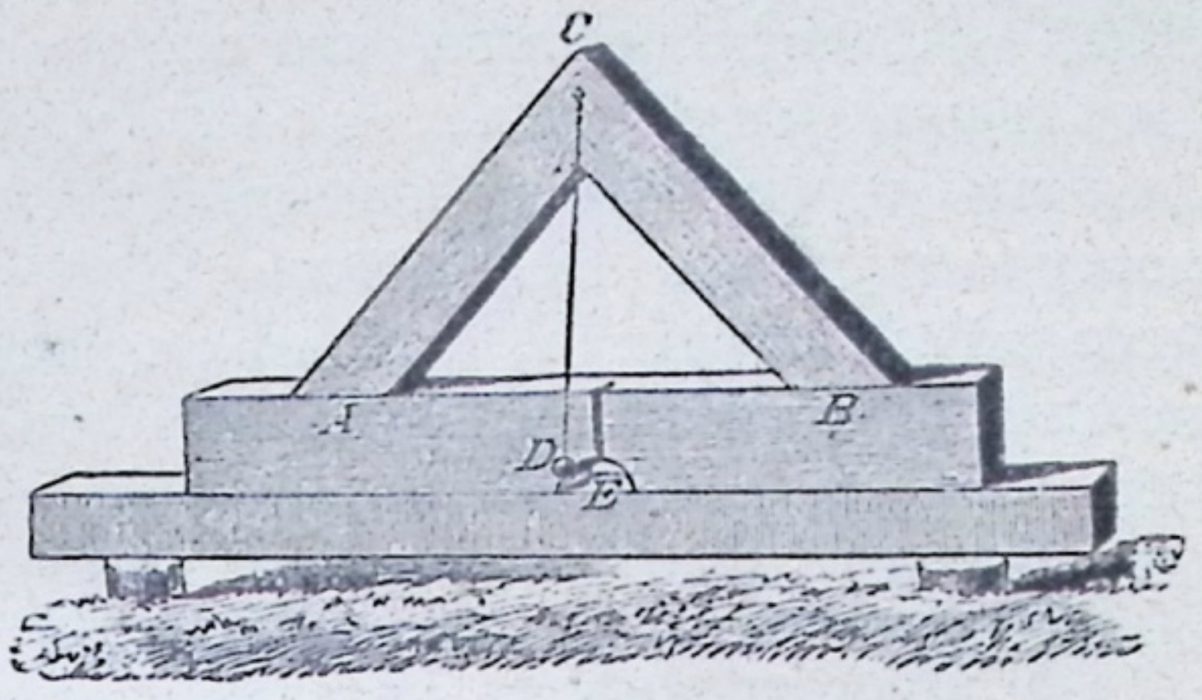


Фиг. 10.

b). На веревкѣ *ab* (фиг. 10) подвѣшенъ латунный или свинцовый грузикъ *m*. Мы называемъ такое приспособленіе **отвѣсомъ**. Возьмемъ веревку въ какой-нибудь точкѣ *a* въ руку; грузикъ *m* натянетъ веревку и при томъ всегда въ одномъ и томъ же опредѣленномъ направленіи. Выпустимъ изъ руки какое-ниб. тѣло рядомъ съ отвѣсомъ; оно падаетъ вдоль отвѣса. Значитъ шнуръ отвѣса натянутъ въ направленіи, по которому падаютъ тѣла. Мы называемъ это направленіе **отвѣснымъ** или **вертикальнымъ**. Если станемъ держать отвѣсъ надъ водой такъ, чтобы грузикъ *m* цѣликомъ погрузился въ воду, то нить отвѣса образуетъ прямой уголъ съ **горизонтальной** поверхностью воды. (Провѣрьте при помощи угольника!). Итакъ, вертикальное направленіе перпендикулярно къ горизонтальному.

Свинцовый отвѣсъ примѣняется каменьщиками и плотниками для опредѣленія, стоитъ ли данный предметъ вертикально. Соединивъ отвѣсъ съ

прямоугольнымъ равнобедреннымъ треугольникомъ, можемъ примѣнять его и для опредѣленія горизонтальнаго направленія. Это приспособленіе называютъ ватерпасомъ (плотничный уровень) (фиг. 11). Опишите его и объясните его употребленіе. Продолженія всѣхъ взятыхъ на землѣ отвѣсовъ пересѣклись бы въ ея центрѣ. Поэтому часто говорятъ: падающее тѣло движется по направленію къ центру земли. Вслѣдствіе большого разстоянія центра земли отъ ея поверхности (прибл. 6370 км.) отвѣсы въ близкихъ другъ отъ друга точкахъ на земной поверхности могутъ считаться приблизительно параллельными.



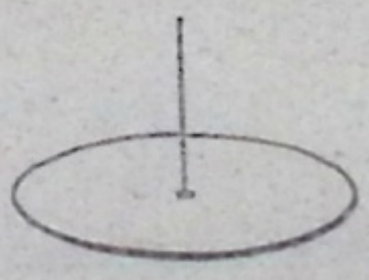
Фиг. 11.

10. **Вѣсъ. Масса.** Поддержимъ ладонью грузикъ отвѣса и станемъ его поднимать; мы видимъ, что нить уже не натянута. Тяжесть тѣла не проявляется теперь въ видѣ тяги; зато мы чувствуемъ давленіе грузика на ладонь. Давленіе, которое тѣло производитъ на покоющуюся горизонтальную подставку называется его **абсолютнымъ вѣсомъ**. Поставимъ на руку какой-нибудь сосудъ; если станемъ насыпать въ него горохъ или дробь, или же наливать воду, ртуть и т. п., то почувствуемъ, что вѣсъ его растетъ по мѣрѣ того, какъ увеличивается наполняющее сосудъ **количество вещества** или **масса**.

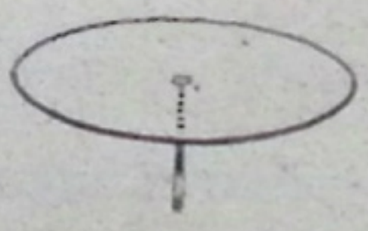
Для опредѣленія вѣса тѣла мы употребляемъ вѣсы (§ 14). При взвѣшиваніи мы сравниваемъ вѣсъ даннаго тѣла съ вѣсомъ точно изготовленныхъ кусковъ металла, составляющихъ наборъ разновѣсокъ. За единицу вѣса принятъ **граммъ**, т. е. вѣсъ кубическаго центиметра чистой воды при $+4^0$ Ц.

Какія вы знаете высшія и нисшія единицы вѣса?

11. **Центръ тяжести.** *а*). Возьмемъ круглую тонкую пластинку изъ дерева или картона. Если выпустимъ ее, она упадетъ; если же подвѣсимъ въ центрѣ на нити (фиг. 12) или подопремъ иглой (фиг. 13), она станетъ колебаться около горизонтальнаго положенія. На пластинку дѣйствуютъ теперь двѣ силы: одна, вѣсъ ея, направленная внизъ, другая — сопротивленіе, которое нить оказываетъ разрыву, а игла сжатію, иначе го-



Фиг. 12.

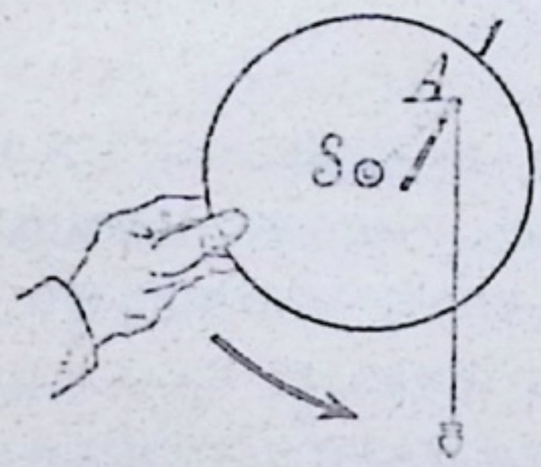


Фиг. 13.

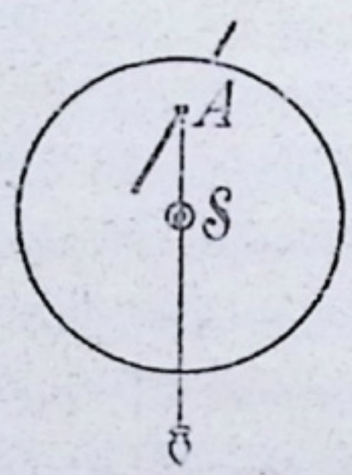
воря, прочность подвѣса или опоры. Объ силы вмѣстѣ не производятъ никакого дѣйствія — значитъ, объ находятся въ равновѣсіи. Тѣмъ, что мы поддержали одну точку нашего тѣла, мы достигли того, что все оно не падаетъ. Мы называемъ ту точку тѣла, которую нужно поддержать для того, чтобы уравновѣсить силу тяжести, дѣйствующую на все тѣло, его **центромъ тяжести.** Изъ нашего опыта слѣдуетъ, что вѣсъ пластинки приложенъ въ ея центрѣ тяжести; иначе въ опытахъ, представленныхъ на фиг. 12 и 13, не могло бы получиться равновѣсіе.

Повторите опытъ съ квадратной, прямоугольной, ромбической пластинкой. Гдѣ окажется ихъ центры тяжести?

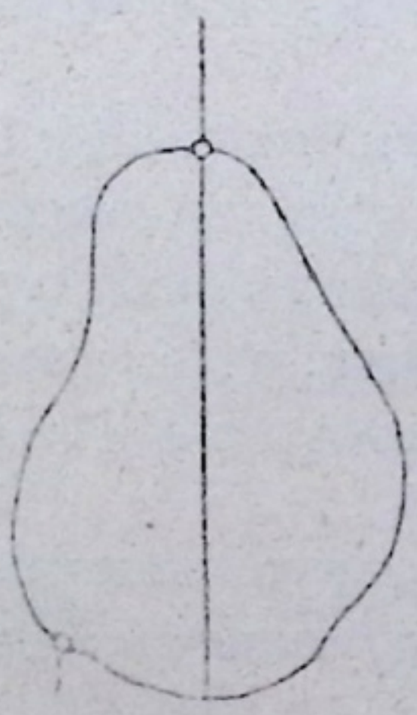
b) Просверлимъ въ круглой пластинкѣ около ея края отверстіе, и продѣнемъ черезъ него вязальную иглу, которую будемъ держать горизонтально (фиг. 14). Пластинка нѣкоторое время будетъ подобно маятнику колебаться взадъ и впередъ, пока не остановится; при этомъ она займетъ такое положеніе, что ея центръ тяжести будетъ находиться на отвѣсной линіи, проведенной черезъ точку опоры *A* (фиг. 15). Легко убѣдиться, что это положеніе центра тяжести, какъ разъ подъ точкой опоры, самое низкое изъ возможныхъ для него положеній. На основаніи только что сказаннаго не трудно опредѣлить центръ тяжести любой картонной пластинки неправильной формы (фиг. 16). Подвѣсимъ ее съ этой цѣлью сперва за одну изъ крайнихъ точекъ, а затѣмъ за какую-нибудь другую (фиг. 16 и 17); въ каждомъ изъ этихъ положеній проведемъ на ней отвѣсную линію, направленіе которой узнаемъ по направленію натянутой нити (фиг. 17), и опредѣлимъ точку пересѣченія этихъ двухъ линій. Въ этой точкѣ и лежитъ центръ тяжести. Какъ провѣрить нашъ выводъ?



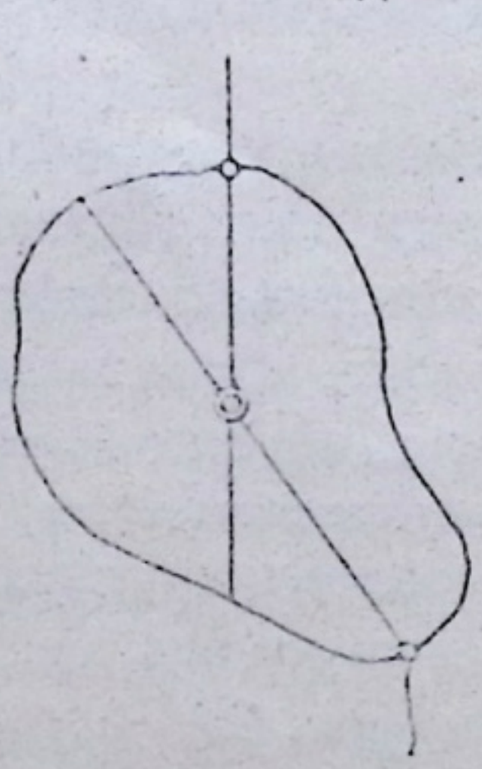
Фиг. 14.



Фиг. 15.



Фиг. 16.

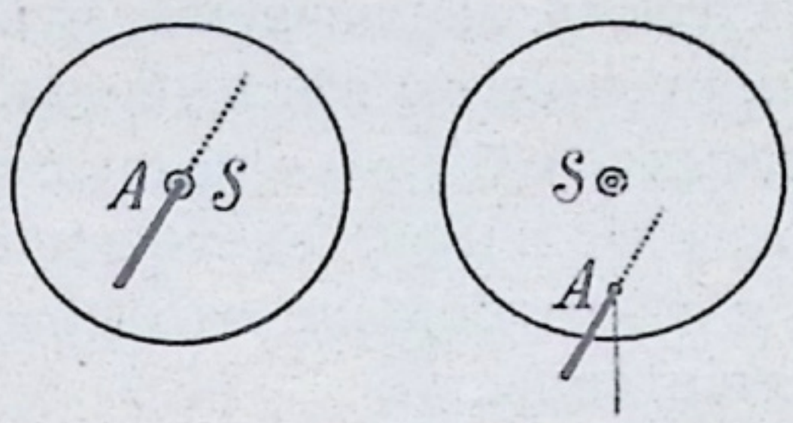


Фиг. 17.

Можно ли говорить о центрѣ тяжести куба, цилиндра, шара? Гдѣ онъ находится?

12. **Виды равновѣсія**. Возьмемъ круглую пластинку и продѣнемъ черезъ центръ ея иглу, которую станемъ держать горизон-

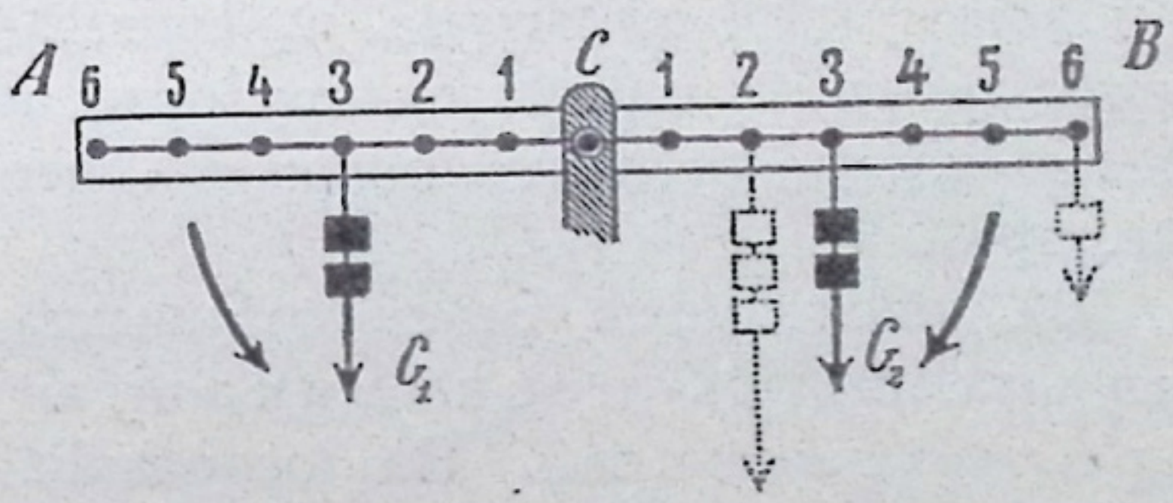
тально (фиг. 18). Пластинка можетъ свободно вращаться около этой иглы (оси). Если повернемъ пластинку, то увидимъ, что она и въ новомъ положеніи остается въ покоѣ. Значитъ, во всякомъ положеніи наша пластинка находится въ равновѣсіи; мы называемъ такой видъ равновѣсія — **безразличнымъ.** Оно бываетъ тогда, когда ось проходитъ черезъ центръ тяжести тѣла. Пластинка окажется въ равновѣсіи и въ тѣхъ случаяхъ, когда центръ тяжести будетъ какъ разъ подъ осью (фиг. 15) или же какъ разъ надъ осью (фиг. 19). Въ первомъ случаѣ мы называемъ равновѣсіе **устойчивымъ**, такъ какъ кружокъ, выведенный изъ положенія равновѣсія, снова возвращается въ прежнее положеніе. Во второмъ случаѣ равновѣсіе — **неустойчиво**: при малѣйшемъ смѣщеніи наше тѣло опрокидывается и переходитъ въ положеніе устойчиваго равновѣсія.



Фиг. 18. Фиг. 19.

Назовите тѣла, которыя находятся въ безразличномъ, устойчивомъ или неустойчивомъ равновѣсіи. Чѣмъ отличаются другъ отъ друга эти три вида равновѣсія?

13. **Рычагъ.** *а*) Возьмемъ металлическую или деревянную линейку *AB* (фиг. 20), которая по всей своей длинѣ имѣетъ одинаковую толщину, и укрѣпимъ ее такъ, чтобы она могла свободно вращаться около оси, проходящей черезъ ея центръ тяжести *C* перпендикулярно къ самой линейкѣ; послѣдняя, какъ мы знаемъ, находится въ состояніи безразличнаго равновѣсія. Раздѣлимъ обѣ половины линейки на равныя части. Если теперь подвѣсимъ въ какой-нибудь точкѣ лѣвой половины (напр. въ 3-ьей) грузъ G_1 въ 200 **гр**, то эта половина начнетъ опускаться (Почему?). Если бы мы тотъ-же грузъ въ 200 **гр** подвѣсили въ 3-ьей точкѣ правой половины, нашъ стержень повернулся бы въ обратную сторону. Если же мы одновременно подвѣсимъ по 200 **гр** въ 3-ьей точкѣ слѣва и справа, то линейка останется въ



Фиг. 20.

равновѣсіи. Смѣстимъ одинъ изъ грузовъ (напр. въ точку 2 или 4), линейка тотчасъ повернется. Повернется она и въ томъ случаѣ, если одинъ изъ грузовъ возьмемъ больше или меньше другого.

Отсюда заключаемъ, что вращающее дѣйствіе, которое производитъ вѣсъ (сила) на наше приспособленіе, зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ, а именно: 1) величины силы, 2) разстоянія ея точки приложенія отъ оси: чѣмъ больше сила и чѣмъ больше это разстояніе, тѣмъ больше и вращающее дѣйствіе силы.

Мы называемъ **рычагомъ** всякій не гибкій, вращающійся около оси стержень, къ которому въ двухъ точкахъ приложены силы, стремящіяся повернуть его въ различныхъ направленіяхъ. Разстоянія точекъ приложенія силъ отъ оси называются плечами рычага.

Такъ какъ въ вышеописанномъ опытѣ плечи рычага одинаковой длины, то мы называемъ его равноплечным. Равноплечный рычагъ находится въ равновѣсіи, если на оба плеча дѣйствуютъ равныя силы.

b) Продолжимъ нашъ опытъ. Перевѣсимъ грузъ G_2 изъ точки 3 въ точку 6; рычагъ станетъ наклоняться вправо, и намъ придется для того, чтобы возстановить равновѣсіе, уменьшить на половину (100 **гр.**) грузъ G_2 (фиг. 20). Если пожелаемъ уравновѣсить грузъ G_1 въ 200 **гр.** грузомъ, подвѣшеннымъ въ точкѣ 2 праваго плеча, то опытъ покажетъ, что для этого нужно 300 **гр.** (фиг. 20).

Въ послѣднихъ разсмотрѣнныхъ нами случаяхъ плечи рычага имѣютъ неодинаковую длину; нашъ рычагъ — неравноплечный. На основаніи описанныхъ опытовъ и многихъ другихъ подобныхъ мы находимъ **законъ рычага**: рычагъ находится въ равновѣсіи, если съ обѣихъ его сторонъ произведенія чиселъ, опредѣляющихъ величину силы (вѣса) и длину соотвѣтственнаго плеча, равны.

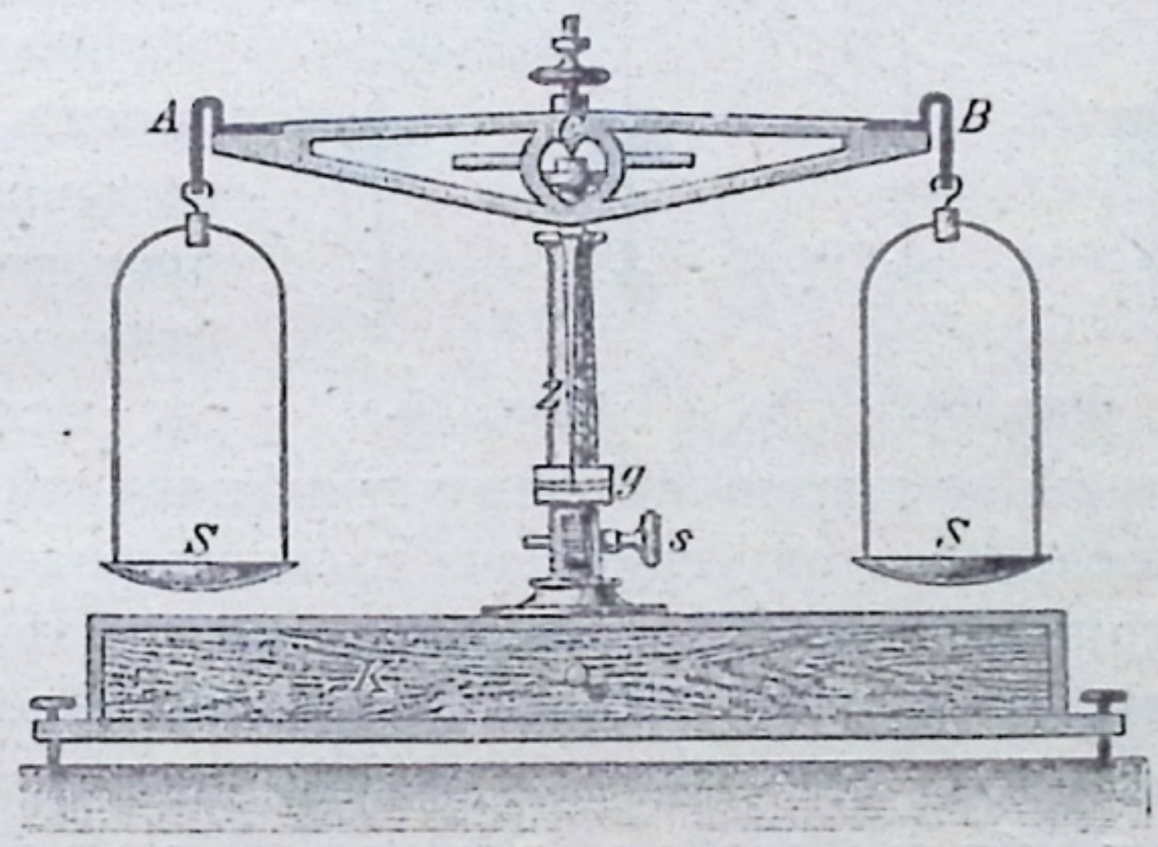
Такъ, у насъ было $200 \times 3 = 100 \times 6$ и $200 \times 3 = 300 \times 2$. Можно ли примѣнить этотъ законъ къ равноплечному рычагу.

14. **Равноплечные вѣсы.**—Главную часть **равноплечныхъ вѣсовъ** составляетъ равноплечный рычагъ *AB* на фиг. 21 и 22, называемый коромысломъ. Посрединѣ его укрѣплена призма изъ закаленной

стали съ острымъ ребромъ, которымъ она опирается на стальную подставку. Въ обыкновенныхъ вѣсахъ посрединѣ коромысла перпендикулярно къ нему вверхъ прикрѣпленъ указатель (стрѣлка), который при равновѣсіи устанавливается посрединѣ особаго вилкообразнаго приспособленія *s*, которымъ и поддерживается коромысло съ призмой. Объ чашки вѣсовъ подвѣшены на концахъ коромысла.

Фиг. 21.

Если выведемъ вѣсы (съ чашками или безъ нихъ — все равно) изъ состоянія равновѣсія, то они послѣ нѣсколькихъ качаній вернутся въ начальное положеніе. Вѣсы, слѣдовательно, обладаютъ устойчивымъ равновѣсіемъ. Коромысло вѣсовъ остается въ горизонтальномъ положеніи и въ томъ случаѣ, когда мы на обѣ чашки положимъ по равному грузу; оно займетъ наклонное положеніе, если на одну изъ чашекъ, напр. *A*, добавимъ небольшой грузъ.



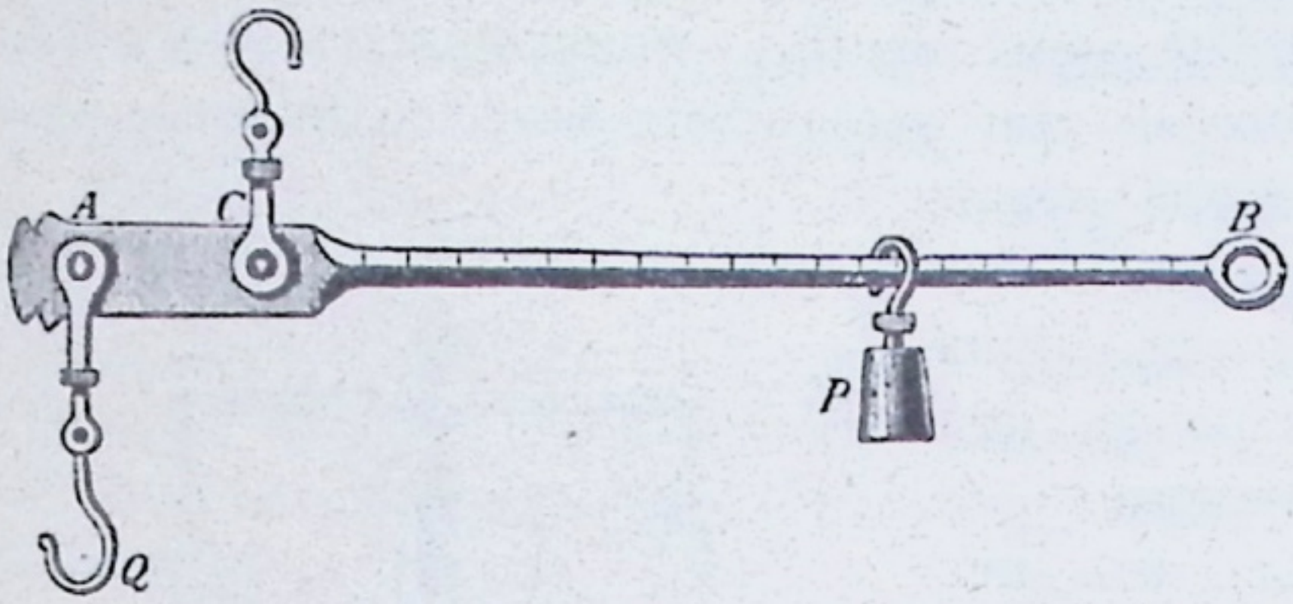
Фиг. 22.

Поэтому для опредѣленія вѣса тѣла, мы кладемъ взвѣшиваемое тѣло на одну чашку вѣсовъ, а на другую накладываемъ разновѣски (§ 10) до тѣхъ поръ, пока стрѣлка не установится посрединѣ. Сосчитавъ разновѣски, узнаемъ абсолютный вѣсъ тѣла.

Почему нельзя употреблять вѣсовъ, у которыхъ коромысло находится въ безразличномъ (или же неустойчивомъ) равновѣсіи? Что намъ бросается въ глаза въ аптекарскихъ вѣсахъ (фиг. 22)?

15. **Неравноплечные вѣсы. — Безмѣнъ** (фиг. 23) представляетъ собой желѣзный неравноплечный рычагъ, на которомъ грузъ *Q* уравновѣшивается подвижной гирей *P*. Послѣднюю перемѣщаютъ вдоль длиннаго плеча *CB*, раздѣленнаго на равныя части до тѣхъ поръ, пока она не уравновѣситъ взвѣшиваемый

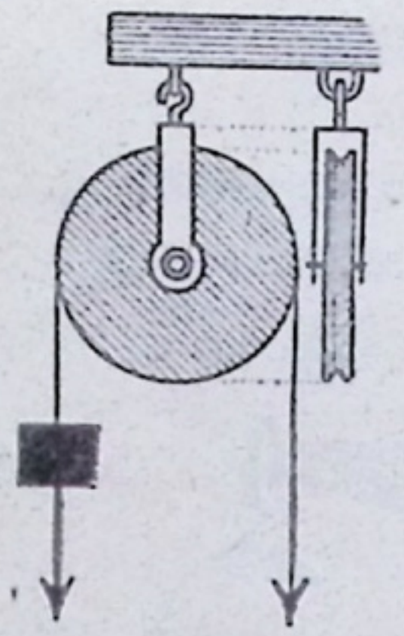
грузъ, т. е., пока рычагъ не займетъ горизонтальнаго положенія. Если подвижная гиря въ 1 **кгр** находится на 1-омъ, 2-омъ, 3-емъ и т. д. дѣленіяхъ, то она уравновѣшиваетъ грузъ въ 1, 2, 3... **кгр**.



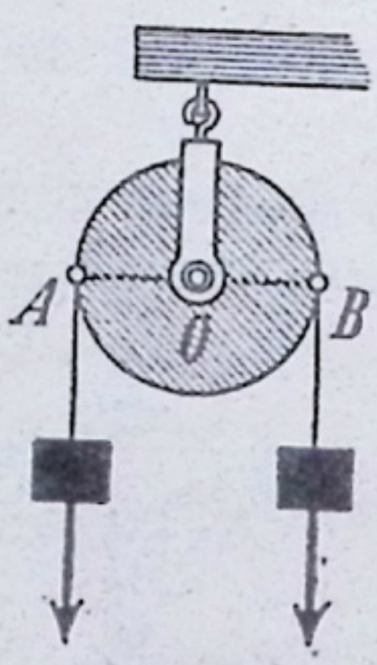
Фиг. 23.

Взвѣшивать на этихъ вѣсахъ можно скорѣе, чѣмъ на обыкновенныхъ, благодаря тому, что имѣемъ дѣло только съ одной гирей.

16. **Блокъ.** — Если хотимъ поднять какой-нибудь грузъ, напр. тяжелый камень, по вертикальному направленію, то для этого нужно, укрѣпивъ его на веревкѣ, тянуть ее съ достаточной силой вверхъ. Однако, гораздо удобнѣе продѣть веревку черезъ кольцо, прикрѣпленное напр. къ потолку, и тянуть конецъ ея внизъ. Еще удобнѣе пользоваться для этой цѣли **блокомъ**. Главную его часть составляетъ колесо, вращающееся въ особой обоймѣ на оси, перпендикулярно къ нему укрѣпленной (фиг. 24). По окружности колеса дѣлается углубленіе въ видѣ желобка (фиг. 24). Веревка, при помощи которой хотимъ поднять грузъ, перебрасывается черезъ колесо. Если къ обоимъ концамъ веревки подвѣсимъ равныя гири (фиг. 25), то равновѣсіе сохранится. Значитъ, примѣненіемъ блока мы не выигрываемъ въ силѣ, но мѣняемъ удобнымъ для насъ способомъ ея направленіе (ср. § 7).



Фиг. 24.

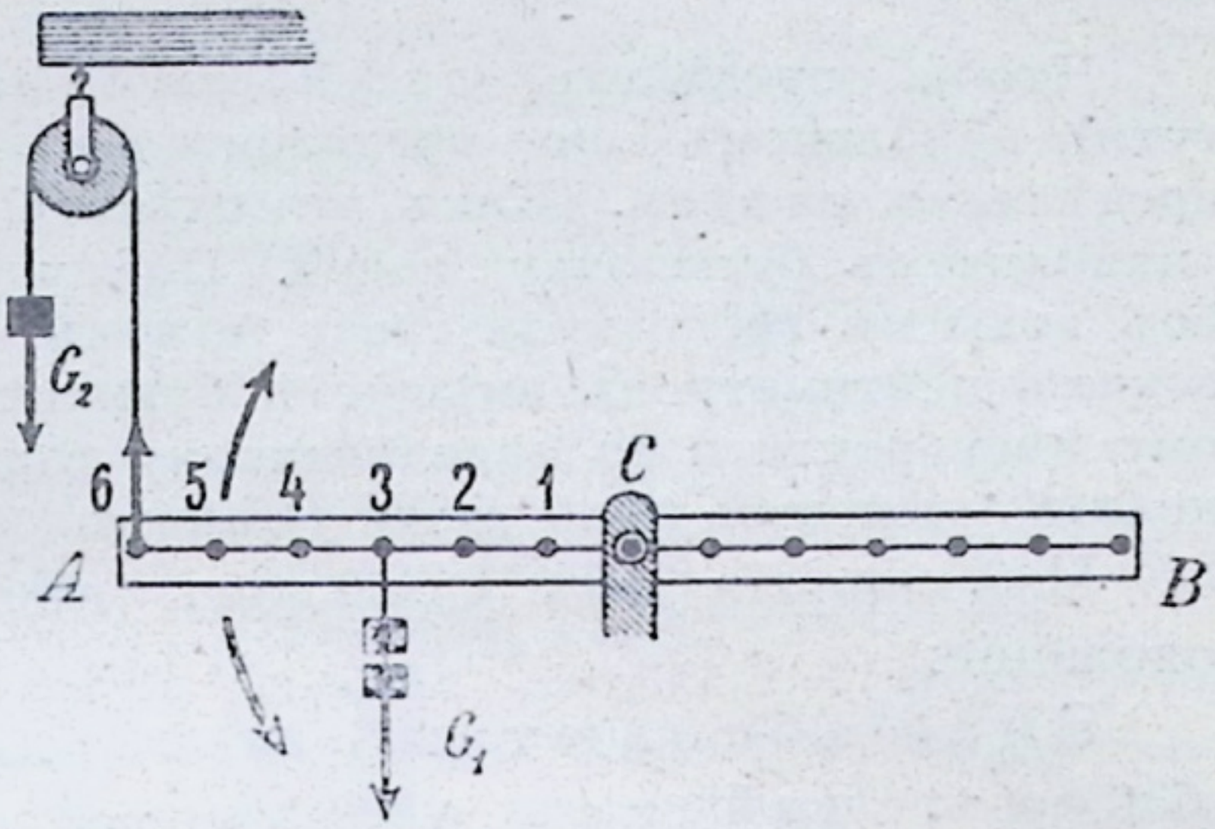


Фиг. 25.

Можно ли достичь при помощи блока, чтобы лошадь, которая тянетъ только въ горизонтальномъ направленіи, поднимала бы грузъ? Укажите случаи, когда выгодно примѣнить блокъ. Не напоминаетъ ли блокъ одинъ видъ рычага? (фиг. 25).

При помощи блока мы можемъ слѣдующимъ образомъ видоизмѣнить опытъ съ рычагомъ, описанный въ § 13 (см. фиг. 26). (На этомъ рисункѣ правая часть фиг. 20 изображена слѣва). Для того, чтобы поднять грузъ G_1 (200 **гр** въ точкѣ 3), нужно, чтобы въ точкѣ 6 тянула вверхъ (при помощи блока) сила въ 100 **гр**. Та-

кой рычагъ мы называемъ односторонним ъ или рычагомъ 2-го рода, такъ какъ оба его плеча лежатъ по одну сторону отъ оси, между тѣмъ, какъ въ описанномъ въ § 13 двустороннемъ рычагѣ или рычагѣ 1-го рода, оба плеча были расположены по обѣ стороны отъ оси.



Фиг. 26.

17. **Удѣльный вѣсъ.** —Опредѣлимъ вѣсъ различныхъ тѣлъ одинаковаго объема; мы находимъ, что вѣсъ ихъ различенъ; такъ, напр., 1**цт**^{3} воды вѣситъ 1 **гр**; 1**цт**^{3} мрамора—2,7 **гр**; 1 **цт**^{3} алюминія 2,6 **гр**; 1**цт**^{3} желѣза — 7,1 до 7,9 **гр**; 1**цт**^{3} серебра — 10,47 **гр**; 1**цт**^{3} ртути — 13,6 **гр**; 1 **цт**^{3} платины — 22 **гр** и т. д. Итакъ, вѣсъ единицы объема (напр. одного кубическаго центиметра) представляетъ особый признакъ даннаго тѣла.

Если намъ дадутъ кубикъ въ 1**цм**^{3} серебристо-бѣлаго металла, который по виду похожъ на серебро, и мы найдемъ, что онъ вѣситъ 22 **гр**, то можемъ быть увѣрены, что онъ не серебряный, такъ какъ иначе онъ долженъ былъ-бы вѣсить 10,47 **гр**. Другіе признаки (цвѣтъ, блескъ) могли-бы насъ въ данномъ случаѣ ввести въ заблужденіе, но такъ какъ одинъ признакъ не совпадаетъ, то мы увѣрены, что кубикъ сдѣланъ не изъ серебра. Почти съ полной увѣренностью мы можемъ въ данномъ случаѣ утверждать, что кубикъ изготовленъ изъ платины. (Почему?).

Вѣсъ единицы объема какого-нибудь тѣла называется его **удѣльнымъ вѣсомъ**. (т. е. вѣсъ, свойственный данному тѣлу).

Для опредѣленія удѣльнаго вѣса даннаго вещества, напр. мрамора, мы могли-бы изготовить изъ него кубикъ въ 1**цт**^{3} и взвѣсить его; мы получили бы 2,7 **гр**; значитъ, удѣльный вѣсъ мрамора равенъ 2,7 единицамъ вѣса, т. е.:

1	**цм**^{3}	мрамора	вѣситъ	2,7 **гр.**
1	**дцм**^{3}	»	»	2,7 **кгр.**
1	**м**^{3}	»	»	2,7 **тонны.**

Такъ какъ трудно точно изготовить такіе кубики, то можемъ поступать для опредѣленія удѣльнаго вѣса слѣдующимъ образомъ: возьмемъ небольшой мраморный шарикъ, взвѣсимъ его (пусть вѣсъ его равенъ напр. 13,5 **гр**.) и погрузимъ затѣмъ въ измѣрительный цилиндръ (мензурку) (фиг. 1 на стр. 3), наполненный до 30-го дѣ-

НКП—РСФСР
Государственная библиотека
по народному
образованию
№

ленія; вода поднялась въ немъ до 35-го дѣленія; значитъ, объемъ нашего шарика равенъ 5 **цт**^{3}, а разъ 5 **цт**^{3} мрамора вѣсятъ 13,5 **гр**, то 1 **цт**^{3} вѣситъ $\frac{13{,}5\ \textbf{гр.}}{5} = 2{,}7\ \textbf{гр.}$

Чтобы опредѣлить удѣльный вѣсъ жидкости, (напр. ртути), наполняемъ ею предварительно взвѣшенную бутылочку и опредѣляемъ ея вѣсъ. (Какъ это сдѣлать?). Затѣмъ выливаемъ ртуть и наполняемъ бутылочку водой. Повторяя взвѣшиваніе, находимъ вѣсъ воды въ **гр**, откуда сразу можемъ опредѣлить, сколько кубическихъ центиметровъ вмѣщаетъ бутылочка. (Почему?). По найденному вѣсу ртути и по опредѣленному только что объему легко вычислить удѣльный вѣсъ ртути (Какимъ образомъ?).

Изъ понятія объ удѣльномъ вѣсѣ выводимъ слѣдующее положеніе:

Зная абсолютный вѣсъ даннаго тѣла и его объемъ, найдемъ удѣльный вѣсъ, если раздѣлимъ его абсолютный вѣсъ на число единицъ объема.

Обозначимъ буквой **p** (pondus) абсолютный вѣсъ тѣла, **s** — его удѣльный вѣсъ, **v** — объемъ, тогда нашъ предыдущій выводъ приметъ видъ формулы:

$$s = \frac{p}{v}$$

Отсюда слѣдуютъ 2 дальнѣйшія формулы:

$$p = v.s \qquad \text{и} \qquad v = \frac{p}{s}$$

Выразите словами положенія, заключающіяся въ этихъ формулахъ.

18. **Плотность.** — Такъ какъ 1 **цт**^{3} мѣди вѣситъ 9 **гр**, а 1 **цт**^{3} воды — 1 **гр**, то можемъ сказать, что масса (количество вещества) (§ 10) одного кубическаго центиметра мѣди въ 9 разъ больше массы того-же объема воды. Такъ какъ и 2, 3, 4... **цт**^{3} мѣди обладаютъ въ 9 разъ большей массой, чѣмъ 2, 3, 4... **цт**^{3} воды, то можно вообще сказать: масса мѣди въ 9 разъ больше массы воды. Это отвлеченное число 9, мы называемъ плотностью мѣди. Плотностью даннаго тѣла называется отвлеченное число, которое указываетъ, во сколько разъ масса даннаго тѣла больше массы воды такого-же объема.

Въ метрической системѣ мѣръ плотность и удѣльный вѣсъ численно равны, такъ какъ за единицу вѣса въ этой системѣ мы принимаемъ вѣсъ единицы объема (т. е. кубическаго центиметра) чистой воды (при $+4^0$ Ц.). Однако, изъ нашихъ предыдущихъ

объясненій слѣдуетъ, что удѣльный вѣсъ — именованное число, а плотность — отвлеченное. Удѣльный вѣсъ ртути, напр., равенъ 13,6 единицъ вѣса, т. е. 1 **цт**^{3} ртути вѣситъ 13,6 **гр**; 1 **дцм**^{3} вѣситъ 13,6 **кгр** и т. д. Плотность же ртути равна просто 13,6, т. е. любой объемъ ртути обладаетъ массой въ 13,6 раза большей, чѣмъ равный ему объемъ воды.

Въ слѣдующей табличкѣ даны удѣльныя вѣса наиболѣе часто встрѣчающихся твердыхъ и жидкихъ тѣлъ (числа по большей части округлены и взяты ихъ среднія значенія).

платина	21,5	кварцъ	2,6
золото	19,5	алюминій	2,6
свинецъ	11,4	оконное стекло	2,6
серебро	10,5	поваренная соль	2,3
мѣдь	8,9	сѣра	2,1
латунь	8,1 — 8,6	воскъ	0,96
никкель	8,9	каучукъ	0,93
желѣзо кованное	7,8	ледъ	0,92
чугунъ	7,2	дубовое дерево, сухое	0,79
олово	7,3	буковое дерево „	0,72
цинкъ	7,2	тополевое дерево, сухое	0,39
тяжелый шпатъ	4,6	пробка	0,21
мраморъ	2,7		

вода	1,00	морская вода	1,03
ртуть	13,6	льняное масло	0,94
сѣрная кислота концентр.	1,85	оливковое масло	0,91
соляная кислота	1,21	керосинъ	0,80
молоко	1,03	спиртъ чистый	0,79

Задачи. 1. Кусокъ олова объемомъ въ 12 **цт**^{3} вѣситъ 7,4 **гр**; каковъ удѣльный вѣсъ олова? **2.** Алюминіевый ключъ имѣетъ объемъ 8,75 **цт**^{3} и вѣситъ 22,75 **гр**; какъ великъ удѣльный вѣсъ алюминія? **3.** Пустая бутылка вѣситъ 28,037 **гр**; наполненная дистиллированной водой при $+4^0$ Ц., она вѣситъ 35,593 **гр**; наполненная чистой ртутью — 144,364 **гр**; опредѣлите на основаніи этихъ данныхъ удѣльный вѣсъ ртути. **4.** Сколько вѣситъ массивное золотое кольцо, объемъ котораго равенъ $^1/_2$ **цт**^{3}? Сколько вѣситъ кусокъ платины, объемъ котораго равенъ 45 **цт**^{3}, 45 **мм**^{3}? **6.** Сколько вѣситъ литръ чистаго спирта? **7.** Какой объемъ занимаетъ 1 **кгр.** чистаго спирта? **8.** Бочка для керосина вмѣстимостью въ одинъ гектолитръ вѣситъ безъ керосина 22,5 **кгр.** Каковъ ея вѣсъ послѣ наполненія керосиномъ? **9.** Какой объемъ занимаетъ 1 **кгр** ртути? **10.** Имѣется массивное золотое прессъ-папье въ формѣ куба, грань котораго равна 4 **цт**^{2}. Каковъ его вѣсъ? Сколько оно стоитъ по вѣсу золота, если 1 **гр.** золота стоитъ 2,79 марокъ? (марка = 47 к.). **11.** Сколько вѣситъ пробковый кубъ, ребро котораго равно 2 **м**? **12.** Сколько стоитъ кубъ изъ золота съ ребрами въ 2,5 **дцм**?

III. Дѣйствія молекулярныхъ силъ.

19. **Дѣлимость. Молекулы.**—Сахаръ, мѣлъ, сѣру и другія тѣла можно растолочь въ ступкѣ въ чрезвычайно мелкій порошокъ. Дерево разсыпается изъ-подъ пилы въ видѣ очень мелкихъ опилковъ. Обрабатывая металлъ, напр. желѣзо, напилкомъ, получаемъ мелкіе металлическіе опилки (желѣзные опилки). — Переливая воду, мы можемъ раздѣлить ее на капли. При помощи простого приспособленія, которое употребляется при поливкѣ цвѣтовъ, вода разбивается на очень мелкія капли. — Если черезъ узкую трубочку, конецъ которой погруженъ въ мыльный растворъ, станемъ вдувать воздухъ, а самую трубочку будемъ все время двигать, то воздухъ распредѣлится въ очень большомъ числѣ мельчайшихъ мыльныхъ пузырьковъ.

На основаніи всѣхъ этихъ наблюденій и опытовъ мы заключаемъ, что тѣла можно дѣлить простыми механическими средствами на меньшія части, состоящія изъ того-же вещества. Такъ какъ это вѣрно для всѣхъ тѣлъ, то можемъ вывести слѣдующее положеніе: всѣ тѣла обладаютъ **дѣлимостью**, или-же: всѣ тѣла **дѣлимы**.

У нѣкоторыхъ тѣлъ дѣлимость очень велика. Особенно легко обнаружить это свойство у красокъ и пахучихъ веществъ. Такъ напр., если растворимъ 0,1 **гр** фуксина (красная краска) въ 50 **цт³** воды, то 1 **цт³** раствора будетъ содержать 0,002 **гр** фуксина. Разбавимъ 1 **цт³** этого раствора 19-ью **цт³** воды; новый растворъ представляетъ собой все еще красную жидкость, несмотря на то, что 1 **цт³** содержитъ теперь только одну десятитысячную грамма фуксина, а 1 **мм³** только одну десятимилліонную гр. Капля розоваго масла или же ничтожное количество мускуса могутъ наполнять своимъ запахомъ комнату въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ, несмотря на частое провѣтриваніе.

Золото можно расплющить въ такіе тонкіе листочки, что только десять тысячъ ихъ, наложенныхъ другъ на друга, имѣли бы толщину въ 1 **мм**. Поэтому золота, заключеннаго въ одномъ имперіалѣ (10 р.), достаточно для позолоты конной статуи (вмѣстѣ со всадникомъ).

Хотя механическая дѣлимость тѣлъ во многихъ случаяхъ очень велика, однако мы не въ состояніи продолжить ее какъ угодно далеко. Благодаря несовершенству нашихъ инструментовъ мы довольно скоро достигаемъ предѣла дѣлимости и не можемъ вести дѣленія дальше. Однако мы допускаемъ (такое допущеніе называется гипотезой), что и мельчайшія частицы, изъ получаемыхъ нами при дѣленіи, состоятъ изъ еще болѣе мелкихъ, однородныхъ

частей, которыхъ мы уже не можемъ воспринимать нашими органами чувствъ и которыя дальше недѣлимы. Эти недѣлимыя частицы называются **молекулами** (**молекулярная гипотеза**).

20. **Поры. Молекулярные промежутки.** — Уже невооруженнымъ глазомъ мы видимъ во многихъ тѣлахъ промежутки, заполненные не веществомъ даннаго тѣла, а какимъ-нибудь другимъ (водой, воздухомъ и т. п.). Эти промежутки бываютъ часто такъ малы, что непосредственно ихъ замѣтить нельзя — ихъ называютъ тогда **порами**. — Однако доказать ихъ существованіе легко, такъ какъ благодаря порамъ нѣкоторыя тѣла — напр. глина, мраморъ — всасываютъ жидкости, черезъ другія тѣла—напр. дерево, кожу, можно продавить ртуть и т. п.

Черезъ песчаникъ и кирпичъ можно продуть воздухъ. Пористость стѣнъ имѣетъ большое значеніе для обмѣна воздуха въ нашихъ жилищахъ. Что мы можемъ заключить на основаніи наблюденія, что капля воды мгновенно исчезнетъ, если она упадетъ на пластинку гипса?

Пористость является свойствомъ очень многихъ тѣлъ, однако далеко не всѣхъ. Такъ, на основаніи того факта, что жидкости и газы могутъ произвольно долгое время сохраняться въ запаенныхъ сосудахъ, мы должны заключить, что стекло не пористо. Однако, для того, чтобы объяснить нѣкоторыя явленія, о которыхъ рѣчь будетъ потомъ, приходится допустить, что и въ этихъ тѣлахъ имѣются промежутки между отдѣльными молекулами — **молекулярные промежутки**.

Въ описанныхъ явленіяхъ мы имѣемъ какъ будто случай исключенія свойства непроницаемости вещества. Почему это только кажущіяся исключенія?

21. **Молекулярныя силы. Сцѣпленіе.** — Попытаемся раздѣлить какое-нибудь тѣло на мелкія части (напр. разорвать нить, разбить кирпичъ, раздавить кусочки мѣла и т. п.). Мы замѣчаемъ, что тѣло оказываетъ намъ нѣкоторое сопротивленіе. Мы узнаемъ отсюда, что частицы этихъ тѣлъ (а значитъ и ихъ молекулы) какъ-то связаны другъ съ другомъ; если бы этой связи не было, то тѣло и само по себѣ должно было бы распасться на молекулы. Итакъ, мы должны допустить (гипотезу), что отдѣльныя молекулы какъ-бы связаны другъ съ другомъ, благодаря особымъ притягательнымъ силамъ (такъ называемымъ молекулярнымъ силамъ) и, что поэтому приходится приложить внѣшнія силы, если хотимъ раздѣлить частицы. Связь между частицами одного и того-же тѣла мы называемъ также **сцѣпленіемъ**; оно является первымъ и ближайшимъ дѣйствіемъ молекулярныхъ силъ.

Возьмемъ кусокъ мѣла, разломимъ его на двѣ части и приложимъ другъ къ другу поверхностями разлома. Мы видимъ, что эти куски не могутъ снова соединиться въ одинъ. Связь ихъ — сцѣпленіе — въ мѣстѣ разлома исчезла. Какъ бы мы ни сжимали мелкій стеклянный порошокъ, намъ никогда не удастся получить изъ него цѣльный кусокъ стекла. Отсюда мы должны заключить, что молекулярныя силы дѣйствуютъ только на неизмѣримо малыхъ разстояніяхъ.

22. **Три главныхъ состоянія тѣлъ.** — Благодаря молекулярнымъ силамъ частицы тѣлъ удерживаются одна около другой. Мы можемъ различать по силѣ этого сцѣпленія **три главныхъ состоянія тѣлъ.**

1) **Твердыя тѣла.** — Они обладаютъ значительнымъ сцѣпленіемъ, такъ что лишь съ усиліемъ удается раздѣлить ихъ частицы. Поэтому твердыя тѣла имѣютъ опредѣленную (или, лучше сказать, самостоятельную) форму и опредѣленный объемъ.

2) **Жидкія тѣла (жидкости).** — Они обладаютъ незначительнымъ сцѣпленіемъ по сравненію съ твердыми тѣлами. Въ томъ, что сцѣпленіе у нихъ все-же есть, мы можемъ легко убѣдиться. Въ самомъ дѣлѣ, въ очень малыхъ количествахъ жидкость принимаетъ форму шара — образуетъ капли, какъ мы обыкновенно говоримъ (опыты съ пипеткой). Значитъ, сцѣпленіе частицъ тутъ достаточно велико, чтобы не дать имъ распасться, а заставить принять опредѣленную форму. Однако, обыкновенно мы наблюдаемъ, что частицы жидкости можно съ ничтожной затратой силы перемѣщать одну относительно другой. Ясно, что сцѣпленіе ихъ незначительно. Поэтому-то жидкости и обладаютъ самостоятельной формой только въ очень незначительныхъ количествахъ (капли), а при большихъ количествахъ отдѣльныя капли подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса распадаются и растекаются, (если выльемъ, напримѣръ, воду на полъ) или же принимаютъ форму сосуда, въ которомъ онѣ находятся и который не даетъ имъ возможности разлиться. Съ другой стороны жидкости имѣютъ вполнѣ опредѣленный объемъ: 1 литръ воды занимаетъ 1 **дцм**^{3} все равно, будетъ ли вода налита въ бутылку, цилиндрическій сосудъ или плоскую тарелку.

Для сравненія наполните различные сосуды горохомъ, крупой, пескомъ и т. п.

3) **Газообразныя тѣла (газы).** — Частицы этихъ тѣлъ (какъ напримѣръ, частицы воздуха, свѣтильнаго газа и т. п.) совсѣмъ лишены сцѣпленія; онѣ стремятся наоборотъ разойтись,

какъ можно дальше другъ отъ друга въ данномъ имъ пространствѣ; иначе говоря, онѣ способны расширяться. Возьмемъ бычачій пузырь (или же шаръ изъ плотной папиросной бумаги), сожмемъ его и, надѣвъ на газовый рожокъ, наполнимъ газомъ; затѣмъ закроемъ кранъ и теперь снова сожмемъ нашъ шаръ или пузырь, чтобы весь газъ вышелъ, то очень скоро запахъ газа будетъ чувствоваться по всей комнатѣ. Это показываетъ намъ, что незначительное количество свѣтильнаго газа самособой распространилось во всемъ объемѣ комнаты. Отсюда ясно, что газообразныя тѣла не имѣютъ ни самостоятельной формы, ни опредѣленнаго объема.

Сопоставимъ теперь основные признаки трехъ главныхъ состояній.

Твердыя тѣла: сильное сцѣпленіе, самостоятельная форма, опредѣленный объемъ.

Жидкія тѣла (жидкости): незначительное сцѣпленіе, самостоятельной формы не имѣютъ, но имѣютъ опредѣленный объемъ.

Газы: сцѣпленія нѣтъ, способны безпредѣльно расширяться, не имѣютъ, ни самостоятельной формы, ни опредѣленнаго объема.

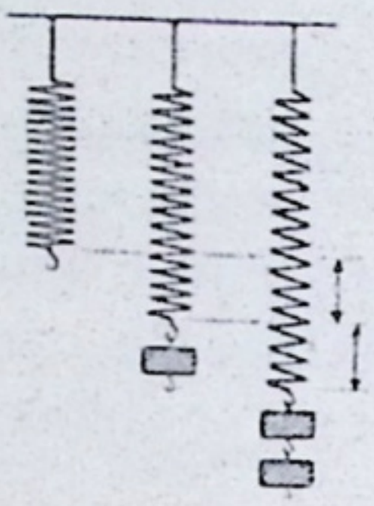
Способность газовъ расширяться ясно видна въ слѣдующемъ опытѣ: насыпимъ въ стеклянную бутылку шипучаго порошка (и при томъ оба составныхъ порошка, сода и кислота), смѣшаемъ ихъ встряхиваніемъ, нальемъ немного воды и тотчасъ закроемъ горлышко ладонью. Мы почувствуемъ, что образовавшійся газъ все сильнѣе давитъ изнутри на нашу ладонь; а чуть ее приподымемъ, газъ со свистомъ вырывается наружу. Назовите различныя тѣла, принадлежащія къ твердымъ, жидкимъ и газообразнымъ. Назовите тѣла, которыя встрѣчаются въ различныхъ состояніяхъ.

23. **Виды твердыхъ тѣлъ.** *а*).—Въ различныхъ твердыхъ тѣлахъ сцѣпленіе бываетъ неодинаково. Такъ, мы отличаемъ собственно **твердыя** тѣла (напр. кремень, желѣзо и т. д.) отъ тѣлъ **мягкихъ** (напр. сало, масло и т. д.). Первыя съ трудомъ поддаются внѣшнему воздѣйствію, вторыя — легко. Мы различаемъ далѣе **хрупкія** тѣла (напр. стекло, сѣра, сургучъ въ твердомъ состояніи и другія), которыя легко разламываются, если пытаться ихъ хоть немного согнуть; и вязкія тѣла (какъ напр. всѣ только что упомянутыя, но въ размягченномъ состояніи, затѣмъ нѣкоторые металлы, какъ ковкое желѣзо, мѣдь, серебро, золото и пр.), которые легко выносятъ значительныя измѣненія формы безъ утраты связи между частицами.

Вмѣсто выраженія вязкій употребляются также обозначенія ковкій, гибкій, тягучій и др. Объясните эти выраженія! Въ нѣкоторыхъ случаяхъ одно и то-же тѣло, смотря по роду обработки, бываетъ хрупкимъ или гибкимъ. Такъ напримѣръ, сталь становится мягкой и вязкой, если ее накалить и

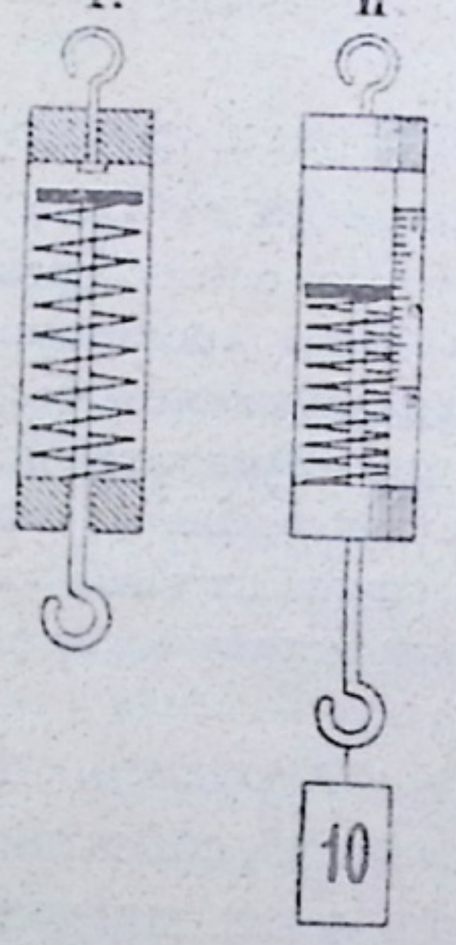
дать медленно остыть, и твердой и хрупкой, если ее накалить и быстро охладить. Быстро-охлажденное стекло (стеклянныя слезки, болонскія бутылочки, твердое стекло, а также и ламповыя стекла) становится настолько хрупко, что оно можетъ почти со взрывомъ распасться при малѣйшемъ поврежденіи.

b). Особенно важны для насъ **упругія** тѣла, т. е. такія, у которыхъ частицы могутъ быть смѣщены, но которыя тотчасъ же принимаютъ свою прежнюю форму, если сила, которая вызвала измѣненіе формы, перестала дѣйствовать (напр. спиральныя пружины, резиновыя ленты и т. п.).



Фиг. 27.

Возьмемъ каучуковую трубку или спиральную пружину за концы и попробуемъ ее растянуть; мы чувствуемъ противодѣйствіе (упругую силу), которое тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше вызванное нами измѣненіе формы. Нагрузимъ вертикально-подвѣшенную спиральную пружину (фиг. 27) сперва 10-ью граммами, а затѣмъ 20-ью. Мы видимъ, что удлиненіе во второмъ случаѣ въ 2 раза больше, чѣмъ въ первомъ. Итакъ, удлиненія пропорціональны силамъ, измѣняющимъ форму нашей пружины. На этомъ основано устройство **пружинныхъ вѣсовъ**. На фигурѣ 28 изображена модель такихъ вѣсовъ, въ которыхъ пружина подвергается сдавливанію. Объясните рисунокъ!



Фиг. 28.

Назовите нѣсколько упругихъ тѣлъ! Объясните назначеніе и способъ примѣненія упругихъ тѣлъ въ различныхъ обиходныхъ вещахъ, какъ то: спиральныя пружины въ часахъ и музыкальныхъ шкатулкахъ; пружины въ мягкой мебели, каретныя рессоры, буффера въ поѣздахъ, пробки, пружинные затворы въ карманныхъ чернильницахъ и т. п.

24. **Прилипаніе.** — Притягательныя молекулярныя силы (§ 21) дѣйствуютъ не только между молекулами одного и того-же тѣла, но и между молекулами двухъ различныхъ тѣлъ. Такъ напр., частицы мѣла держатся на поверхности доски, частицы графита нашего карандаша — на бумагѣ, пылинки — на всѣхъ тѣлахъ и т. д. Это явленіе называютъ **прилипаніемъ**; оно наблюдается между тѣлами всѣхъ трехъ состояній.

Такъ напр., очень гладко отшлифованныя металлическія или стеклянныя пластинки прилипаютъ другъ къ другу. Ихъ связь еще прочнѣе, если впустимъ между ними каплю воды или масла. Только что надрѣзанныя поверхности каучука довольно прочно соединяются, если придавимъ ихъ другъ къ другу. Зеркальная наводка крѣпко держится на стеклѣ; точно такъ же прочно пристаетъ и позолота къ

предмету. На прилипаніи основаны: письмо, рисованіе, живопись, склеиваніе, спайка и т. д. Почему? Съ какой цѣлью примѣняются жидкія склеивающія вещества? Передача нѣкоторыхъ заразныхъ болѣзней (напр. кори, скарлатины и т. п.) при помощи книгъ, платья и т. д. обусловлена также прилипаніемъ къ этимъ предметамъ заразныхъ началъ.

IV. О жидкостяхъ.

25. **Свойства жидкихъ тѣлъ.** — Жидкія тѣла или жидкости отличаются — какъ уже было указано въ § 22 — **легкой подвижностью частицъ.** Поэтому онѣ принимаютъ форму сосуда, въ который налиты. При этомъ поверхность жидкости — ея **уровень** — всегда занимаетъ горизонтальное положеніе (§ 9).

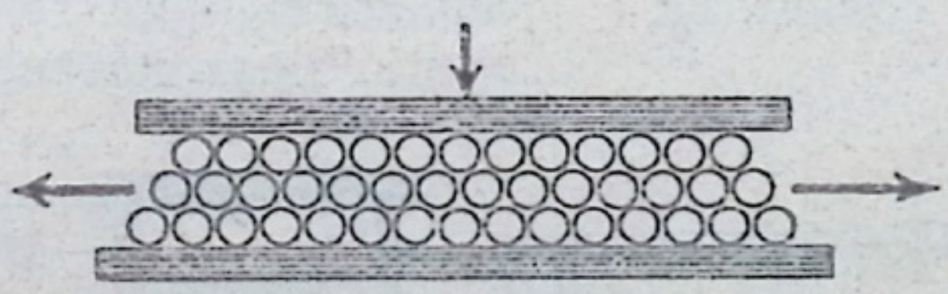
Покоющаяся поверхность моря представляетъ собой часть шаровой поверхности (вѣрнѣе—часть сплюснутой шаровидной поверхности). Почему?

Жидкости настолько **мало сжимаемы,** что мы можемъ ихъ считать практически несжимаемыми.

Если жидкость нальемъ въ толстостѣнный стеклянный цилиндръ (фиг. 29), съ плотно входящимъ въ него поршнемъ *K*, то при самомъ сильномъ давленіи на поршень намъ не удастся замѣтить сжатіе жидкости; скорѣе лопнетъ нашъ сосудъ.

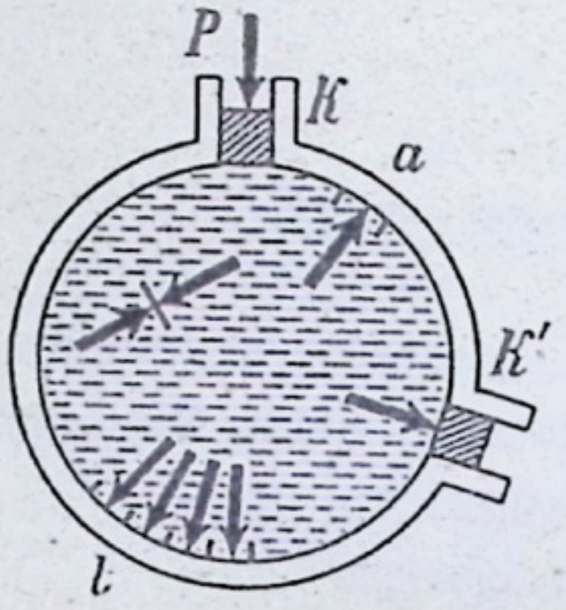
Фиг. 29.

25. **Передача давленія въ жидкостяхъ.** Если станемъ давить на кучу шариковъ (дроби, гороха и т. п.), лежащихъ въ нѣсколько слоевъ на горизонтальной поверхности (фиг. 30), то шарики раскатятся во всѣ стороны. Производимое нами давленіе сверху передалось, такимъ образомъ, по всѣмъ направленіямъ. Частицы жидкости, какъ мы уже знаемъ, легко смѣщаются подобно нашимъ шарикамъ. Поэтому давленіе, которое будемъ производить на жидкость, передастся во всѣ стороны и при томъ съ тою-же силой. **(Законъ равномѣрнаго распространенія давленія въ жидкостяхъ).**

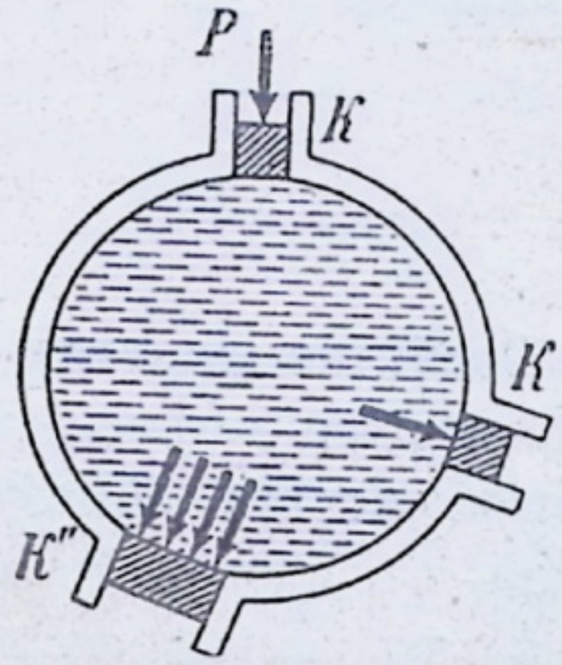

Фиг. 30.

Произведемъ на заключенную въ шарообразный сосудъ (фиг. 31) жидкость при помощи поршня *K* съ поперечнымъ сѣченіемъ въ *q* **цт**^{2}

давленіе, равное P; оно передастся съ той-же силой другому поршню K', который имѣетъ равное поперечное сѣченіе въ q цт^2. Каждая часть стѣнки сосуда въ q цт^2 (напр. при a) испытываетъ такое-же давленіе. На четыре равныхъ по величинѣ и рядомъ лежащихъ площадки стѣнки (см. у b) или, что—то-же, на часть стѣнки съ пло-



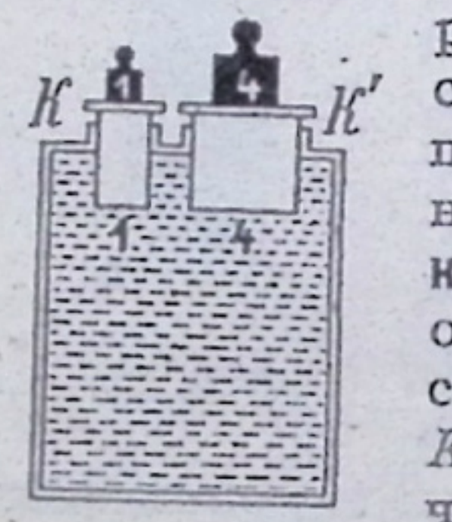
Фиг. 31.



Фиг. 32.

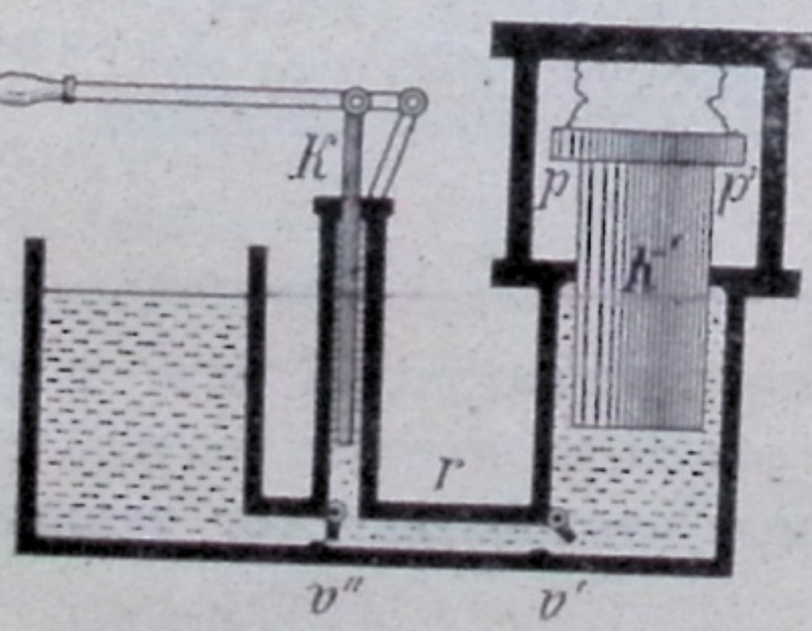
щадью въ $4q$цт^2, давленіе будетъ въ 4 раза больше, т. е. $4P$. Поэтому, если мы замѣнимъ такую часть стѣнки подвижнымъ поршнемъ K'' (фиг. 32), то онъ будетъ выталкиваться съ силой въ 4 раза больше той, съ которой давитъ K.

Въ справедливости сказаннаго мы легко убѣждаемся на приборѣ, изображенномъ на фиг. 33. Въ толстостѣнный сосудъ, наполненный жидкостью, вставлены два плотно прилегающихъ къ отверстіямъ поршня K и K' съ сѣченіями въ 1 цт^2 и 4 цт^2. Если нагрузимъ K, напр. 1-мъ кгр, то на K' придется положить 4 кгр, чтобы онъ остался въ покоѣ. Конечно, поршень K' долженъ быть самъ по себѣ въ четыре раза тяжелѣе, чѣмъ поршень K. Сравните этотъ приборъ съ неравноплечнымъ рычагомъ. Точно такъ-же и на каждую площадку внутри жидкости (фиг. 31) съ сѣченіемъ въ q цт^2 передается давленіе P безъ измѣненія. Почему же она остается въ покоѣ?



Фиг. 33.

На законѣ передачи давленія основанъ и **гидравлическій прессъ.** Въ немъ сосудъ съ прочными стѣнками плотно закрывается двумя поршнями (фиг. 34). Площадь сѣченія поршня K' въ n разъ больше площади сѣченія поршня K. Наполнивъ сосудъ водой, будемъ опускать внизъ при помощи рычага поршень K, тогда поршень K' будетъ испытывать давленіе, направленное вверхъ. Онъ поэтому станетъ поднимать платформу $p — p'$, на которую кладутъ сдавливаемые предметы, и прижимать ихъ съ большой силой къ



Фиг. 34.

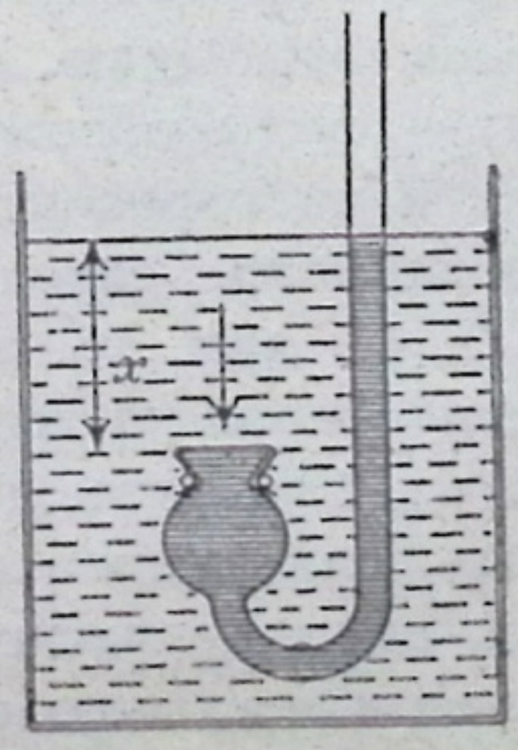
верхней, прочно укрѣпленной платформѣ. v' и v'' представляютъ металлическіе клапаны (вентили), благодаря которымъ вода можетъ двигаться только въ одномъ направленіи; когда мы поднимаемъ поршень K, то клапанъ v' прижимается водой подъ давленіемъ поршня K' и не позволяетъ водѣ уйти изъ большаго цилиндра; въ это время клапанъ v'' открывается и пропускаетъ воду изъ запасного резервуара въ меньшій цилиндръ. Когда же станемъ опускать поршень K, то вода изъ меньшаго цилиндра переходитъ въ большій, открывая клапанъ v''. Давленіе, производимое поршнемъ K' въ n разъ больше давленія, съ которымъ мы дѣйствуемъ на воду при помощи поршня K.

Гидравлическій прессъ примѣняется для выжиманія маслъ изъ сѣмянъ, для прессованія сѣна, сукна и т. п., затѣмъ, для подъема большихъ тяжестей и т. д.

Задачи. 1. Съ какой силой давитъ жидкость на дно бутылки, площадь котораго равна 56 **цт²**, если мы станемъ вдавливать пробку въ горлышко бутылки сѣченіемъ въ 2 **цт²**, съ силой 15 **кгр**? 2. Площадь сѣченія меньшаго поршня гидравлическаго пресса равна 8 **цт²**, большаго — 520 **цт²**. Какое давленіе испытываетъ сжимаемое тѣло, если мы опускаемъ меньшій поршень съ силой въ 40 **кгр**? 3. Какое давленіе можетъ произвести человѣкъ, если онъ съ силой въ 25 **кгр** дѣйствуетъ на рычагъ меньшаго поршня гидравлическаго пресса, при этомъ плечо рычага, на которое онъ давитъ, въ 5 разъ длиннѣе другого плеча, а площадь меньшаго поршня равна 10 **цт²**, большаго — 1 **дцм²**?

27. **Гидростатическое давленіе.** — Представимъ себѣ мысленно жидкость, находящуюся въ какомъ-нибудь сосудѣ, раздѣленной на горизонтальные слои. Каждый изъ нихъ испытываетъ на себѣ тяжесть всѣхъ выше лежащихъ. Поэтому въ любомъ мѣстѣ внутри этой жидкости должно существовать давленіе, которое вызывается вѣсомъ всѣхъ слоевъ жидкости, лежащихъ выше разсматриваемаго мѣста; это давленіе тѣмъ больше, чѣмъ глубже въ жидкости находится разсматриваемое нами мѣсто. Мы называемъ это давленіе **гидростатическимъ давленіемъ.**

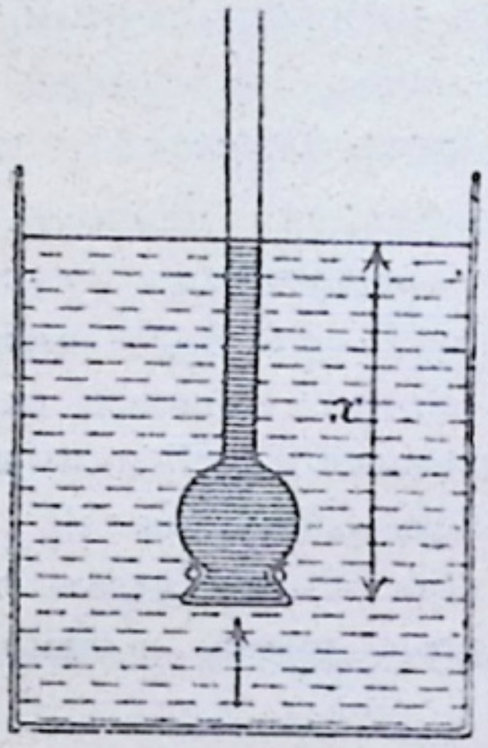
Мы можемъ обнаружить гидростатическое давленіе, если возьмемъ воронкообразную трубку (фиг. 35), широкій конецъ которой плотно завяжемъ резиновой перепонкой, нальемъ въ трубку подкрашенной жидкости и погрузимъ ее въ сосудъ съ водой. Какъ только резиновая перепонка окажется ниже уровня жидкости въ сосудѣ, то она вдавится внутрь, что мы замѣтимъ по повышенію уровня подкрашенной воды въ трубкѣ, т. е. по увеличенію разстоянія x между резиновой перепонкой и уровнемъ жидкости въ трубкѣ. Чѣмъ глубже погрузимъ нашу трубку въ воду, тѣмъ болѣе будетъ это разстояніе — x; если-же будемъ двигать трубку такъ,



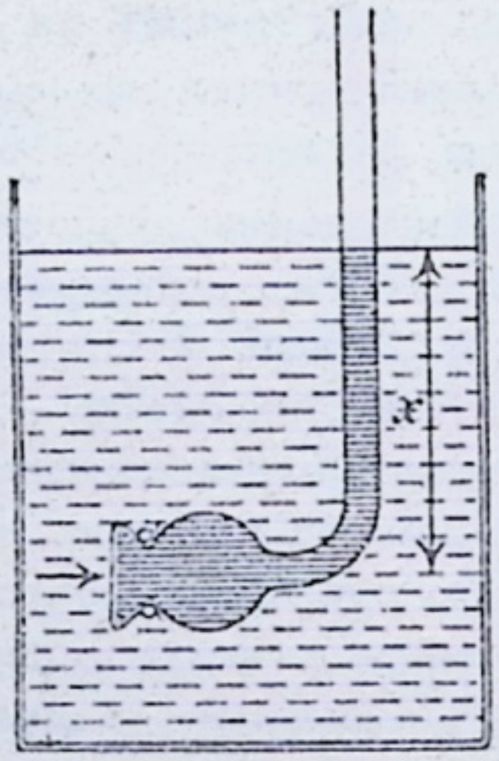
Фиг. 35.

чтобы резиновая перепонка оставалась въ одной и той-же горизонтальной плоскости, то и разстояніе x останется неизмѣннымъ.

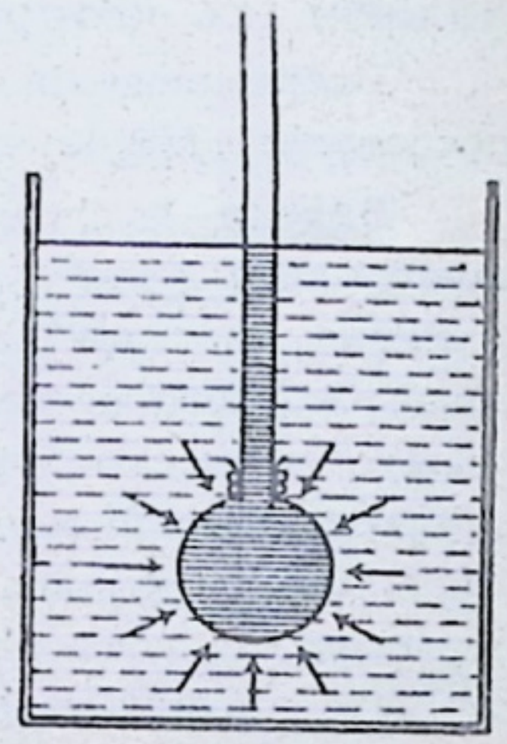
Гидростатическое давленіе дѣйствуетъ не только сверху внизъ, но также и снизу вверхъ, слѣва направо — вообще — въ любомъ направленіи. Это можно обнаружить при помощи такихъ же воронкообразныхъ трубокъ, какъ и предыдущая, изображенныхъ на фиг. 36 и 37. Если же возьмемъ стеклянную трубку, съ



Фиг. 36.



Фиг. 37.

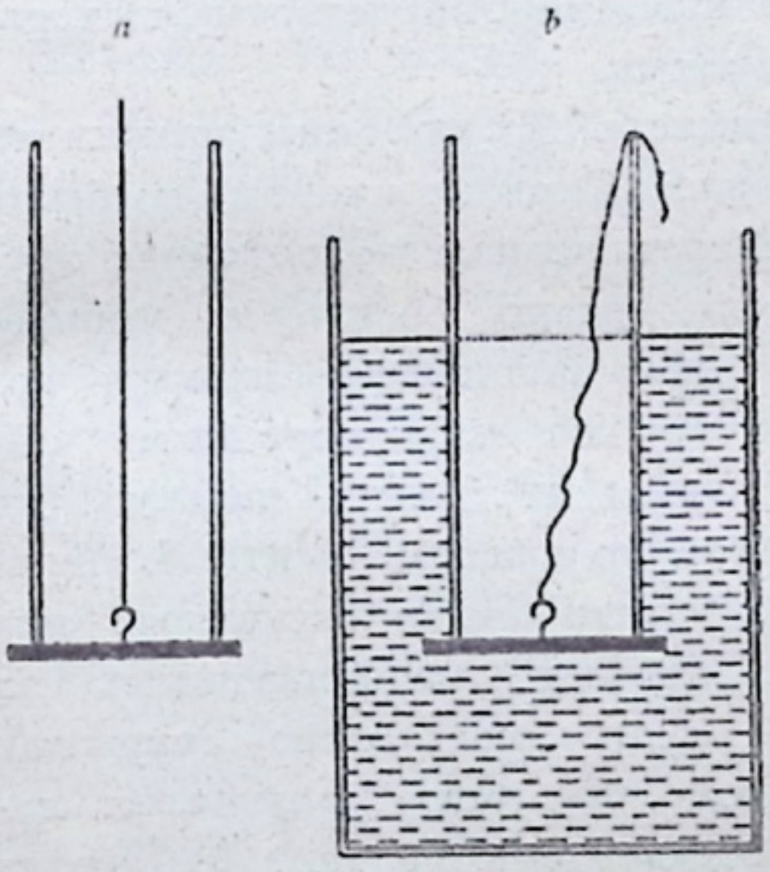


Фиг. 38.

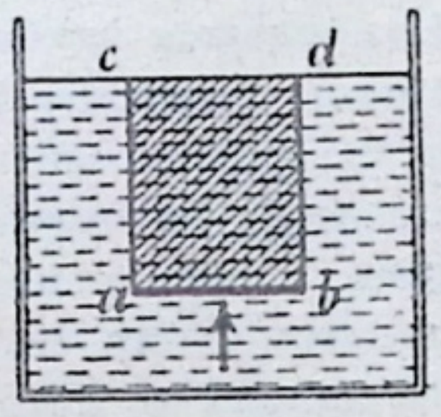
плотно привязаннымъ внизу маленькимъ резиновымъ шаромъ, наполненнымъ подкрашенной жидкостью (фиг. 38), то можемъ точно такимъ же способомъ обнаружить, что гидростатическое давленіе дѣйствуетъ внутри жидкости одинаково со всѣхъ сторонъ и увеличивается съ увеличеніемъ глубины.

28. **Давленіе на дно сосуда. Внутреннее давленіе.** — Нальемъ воды въ цилиндрическій стаканъ, площадь дна котораго равна 1 **дцм²**, до высоты 1 **дцм.** Въ немъ, слѣдовательно, находится 1 **дцм³** или 1 литръ воды вѣсомъ въ 1 **кгр.** Гидростатическое давленіе дѣйствуетъ и на горизонтальное дно сосуда; давленіе на дно равно въ данномъ случаѣ 1 **кгр.** Если воды нальемъ до высоты въ 2, 3, 4... **дцм**, то давленіе на дно возрастаетъ до 2, 3, 4... **кгр.** Если бы мы налили ртути вмѣсто воды, то давленіе увеличилось бы въ 13,6 разъ. (Почему?). Мы можемъ вывести, такимъ образомъ, слѣдующее правило (мы доказали его пока только для сосуда цилиндрической формы): чтобы узнать давленіе жидкости на дно сосуда (въ **кгр**), нужно площадь дна (въ **дцм²**) умножить на высоту жидкости (въ **дцм**) и на ея удѣльный вѣсъ.

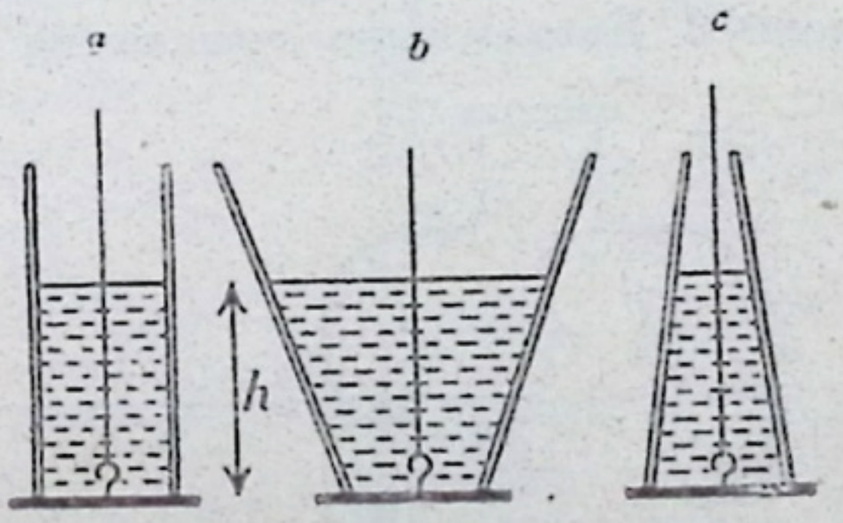
Какъ нужно выразить это правило, если желаемъ опредѣлить давленіе на дно не въ **кгр**, а въ **гр**? Подобнымъ же образомъ можно опредѣлить и величину давленія внутри жидкости. Для этого подведемъ подъ нижній гладко отшлифованный край цилиндрическаго ламповаго стекла (фиг. 39*a*) легкую пластинку (изъ жести или слюды) и придавимъ ее плотно къ этому краю при помощи нитки. Затѣмъ погрузимъ нашъ приборъ въ воду до нѣкоторой глубины (фиг. 39*b*). Теперь можемъ отпустить нить и пластинка не отпадетъ. Станемъ подливать внутрь цилиндра подкрашенную воду; мы наблюдаемъ, что пластинка отпадаетъ только тогда, когда уровень воды снаружи и внутри цилиндра находится на одинаковой высотѣ (въ дѣйствительности вслѣдствіе собственнаго вѣса пластинка отпадетъ нѣсколько раньше). Послѣ того, какъ пластинка отпала, уровень подкрашенной воды остается на той-же высотѣ, какъ и уровень воды снаружи цилиндра. Отсюда видно, что для того, чтобы опредѣлить гидростатическое давленіе, дѣйствующее снизу вверхъ на площадку *ab*, нужно вычислить согласно нашему правилу давленіе, которое оказываетъ на разсматриваемую площадку *ab* (фиг. 40) цилиндрическій столбъ жидкости *abcd*.



Фиг. 39.



Фиг. 40.



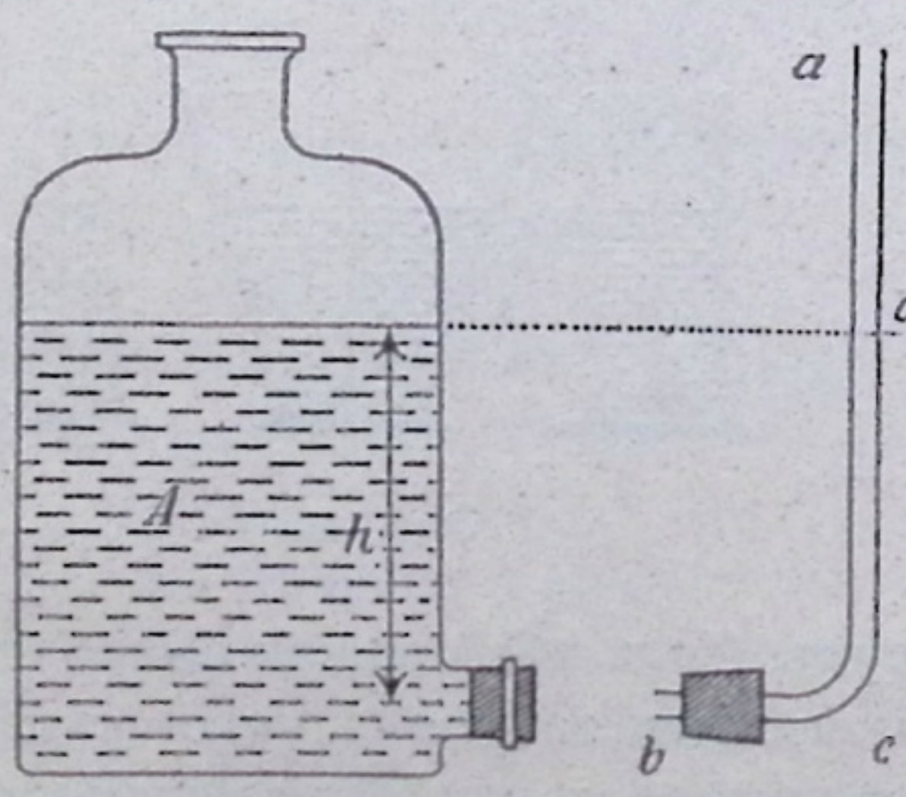
Фиг. 41.

Укрѣпимъ цилиндрическій сосудъ (фиг. 41*a*) на какой-нибудь подставкѣ (на рисункѣ она не указана) и закроемъ его снизу пластинкой. При помощи нити подвѣсимъ ее къ одному плечу коромысла вѣсовъ, уравновѣсимъ ихъ соотвѣтственной нагрузкой на другомъ плечѣ, а затѣмъ нальемъ въ цилиндръ жидкости до нѣкоторой высоты *h* и опредѣлимъ, насколько нужно увеличить нагрузку другого плеча для того, чтобы пластинка не отпала вслѣдствіе давленія столба жидкости. Такимъ образомъ мы опредѣ-

лимъ величину давленія на дно, производимаго этимъ цилиндрическимъ столбомъ жидкости. Теперь возьмемъ сосудъ другой формы *b* или *c* (фиг. 41) (площадь нижняго отверстія во всѣхъ 3-хъ сосудахъ одинакова) и повторимъ нашъ опытъ, наливая жидкости до той же высоты, какъ и прежде. Окажется, что давленіе на дно одинаково, какой бы формы сосудъ мы ни брали. Отсюда получаемъ слѣдующій законъ, который на первый взглядъ можетъ показаться несообразнымъ (парадоксомъ): давленіе на дно не зависитъ отъ формы сосуда, а только отъ величины площади дна и отъ высоты жидкости въ сосудѣ (такъ называемый **гидростатическій парадоксъ**). Отсюда ясно, что правило для вычисленія величины давленія на дно, которое мы вывели раньше, годится для сосудовъ любой формы.

Поверхность въ 1 **дцм²** испытываетъ на глубинѣ въ 1 **м.** ниже уровня моря давленіе въ 10 **кгр** (почему?); на глубинѣ въ 60 **м.**—600 **кгр.** (ср. § 4, водолазный колоколъ) и т. д. Какъ велико давленіе на глубинѣ 100 **м**, 500 **м**, 1000 **м**, 9000 **м**. (Наибольшая глубина была измѣрена въ Тихомъ океанѣ; она равна 9636 **м**.) Морскія животныя, живущія на большой глубинѣ, т. е. подъ большимъ давленіемъ, не могутъ жить на поверхности моря и наоборотъ, животныя верхнихъ слоевъ моря не могутъ жить на большой глубинѣ.

Задачи. 1. Дно цилиндрическаго сосуда занимаетъ 48 **цт²**; онъ наполненъ водой до высоты 15 **цт.** Какъ велико давленіе на дно? Какъ велико бы оно было, если бы мы налили до той же высоты ртути? **2.** Вертикальная водосточная труба плотно закупорена внизу; ея поперечное сѣченіе равно 56 **цт²**, а длина—12 **м.** Какъ велико будетъ давленіе на дно, если она наполнится доверху водою? **3.** Какъ велико давленіе на дно въ желѣзной трубкѣ съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 **цт²**, если нальемъ въ нее ртути до высоты 76 **цт²**? **4.** Нальемъ по 1 литру воды въ каждый изъ трехъ сосудовъ, изображенныхъ на фиг. 41 (снизу они плотно закрыты). Въ какомъ изъ нихъ получается наибольшее давленіе на дно? **5.** Какому давленію подвергается водолазъ на глубинѣ 20 **м**, если поверхность его будемъ считать равной 1,4 **м²**?

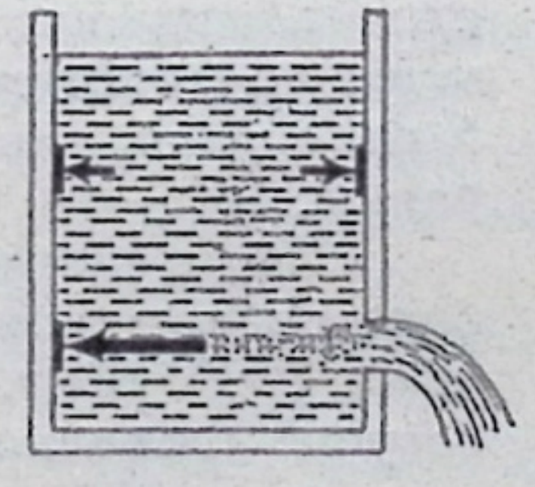


Фиг. 42.

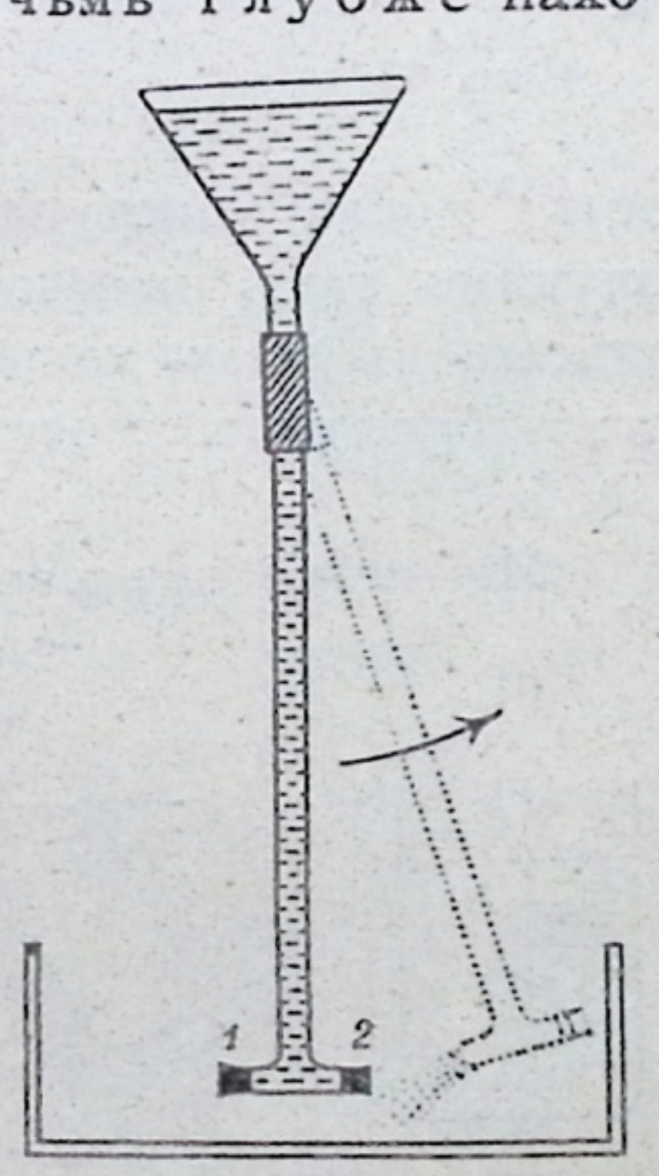
29. **Давленіе на стѣнки сосуда.** — Возьмемъ бутылку *A* (фиг. 42) съ особымъ горлышкомъ внизу, плотно закрытымъ пробкой. Наполнимъ бутылку водой; пробка теперь подвергается давленію воды: такое же **гидростатическое давленіе** дѣйствуетъ и **на стѣнки сосуда**. Чтобы его измѣрить, выльемъ сперва воду и замѣнимъ

пробку другой, черезъ которую проходитъ стеклянная трубка, согнутая подъ прямымъ угломъ (см. фиг. 42). Влажнымъ пальцемъ плотно закроемъ верхнее отверстіе *a* этой трубки и нальемъ въ бутылку воды. Она будетъ оказывать давленіе на воздухъ у отверстія *b* нашей трубки. Если отверстіе *a* откроемъ, то вслѣдствіе этого давленія вода войдетъ въ трубку и поднимется въ ней до нѣкотораго уровня, который, какъ окажется, лежитъ на одной высотѣ съ уровнемъ воды въ бутылкѣ. Итакъ, давленіе на площадку стѣнки сосуда, которое желаемъ опредѣлить, уравновѣшивается давленіемъ столба жидкости *cd* въ придаточной трубкѣ; послѣднее же давленіе, какъ мы знаемъ, не зависитъ ни отъ формы, ни отъ ширины и т. п. сосуда *A*. Поэтому величина бокового давленія опредѣлится на основаніи слѣдующаго правила: Давленіе на небольшую площадку стѣнки сосуда (боковое давленіе) равно вѣсу столба жидкости, у котораго площадь сѣченія равна площади, подвергающейся давленію, а высота равна (среднему) разстоянію этой площади отъ уровня жидкости.

Итакъ, всѣ части боковыхъ стѣнокъ сосуда испытываютъ давленіе налитой жидкости, которое тѣмъ больше, чѣмъ глубже находится данное мѣсто подъ уровнемъ жидкости. Если въ стѣнкѣ сосуда нѣтъ боковыхъ отверстій, то для каждаго давленія, которому подвергается одна часть стѣнки, найдемъ равное и противоположно направленное давленіе, которому подвергается часть стѣнки, противолежащая первой. Если сдѣлаемъ отверстіе въ одной стѣнкѣ, то боковое давленіе въ этомъ мѣстѣ уменьшится, а избытокъ давленія, дѣйствующаго на другую стѣнку стремится привести сосудъ въ движеніе (фиг. 43). Провѣрить это можемъ на простомъ приборѣ (фиг. 44). Прикрѣпимъ къ воронкѣ при помощи каучуковой трубки стеклянную трубочку, имѣющую видъ опрокинутой буквы Т. Закроемъ сперва пробками оба нижнихъ отверстія и наполнимъ весь приборъ водой. Трубка виситъ вертикально; боковыя давленія на пробки 1 и 2 взаимно уравновѣшиваются. Вынемъ теперь одну изъ пробокъ. Вода начнетъ вытекать и въ то-же время трубка отгибается въ сторону, противоположную вытека-



Фиг. 43.

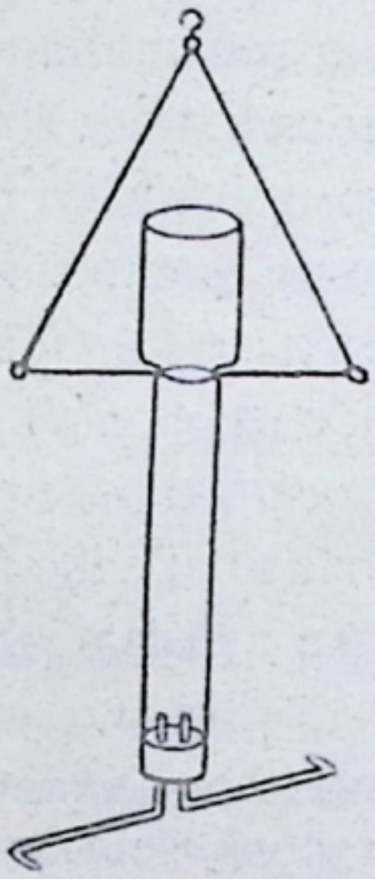


Фиг. 44.

ющей струѣ, и образуетъ такимъ образомъ нѣкоторый уголъ съ вертикальнымъ направленіемъ. Если вынемъ объ пробки, трубка снова займетъ вертикальное положеніе. Это давленіе, обратно направленное вытекающей струей, называютъ **отдачей** (реакціей) вытекающей воды.

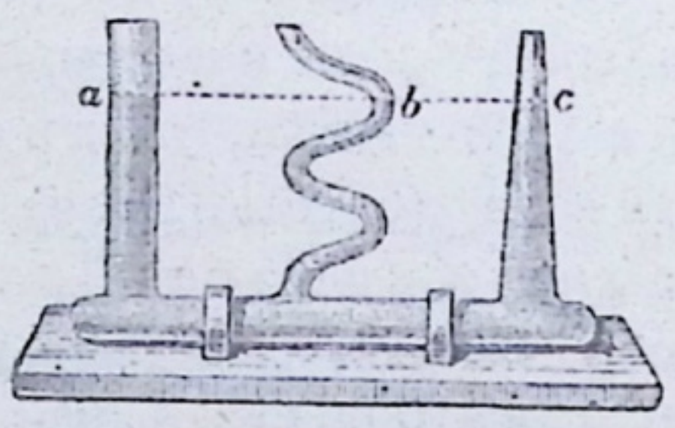
Подобныя же явленія наблюдаются, какъ результатъ расширенія газовъ въ опредѣленныхъ условіяхъ (отдача ружья, откатъ лафета съ пушкой при выстрѣлѣ, взлетаніе ракеты и т. п.).

На явленіи бокового давленія основано и Сегнерово колесо. Такъ называютъ приборъ въ родѣ изображеннаго на фиг. 45, который можно изготовить изъ ламповаго стекла, пробки и нѣсколькихъ стеклянныхъ трубочекъ. Если нальемъ воды въ ламповое стекло, то приборъ начинаетъ быстро вращаться въ сторону, противоположную направленію вытекающей жидкости.



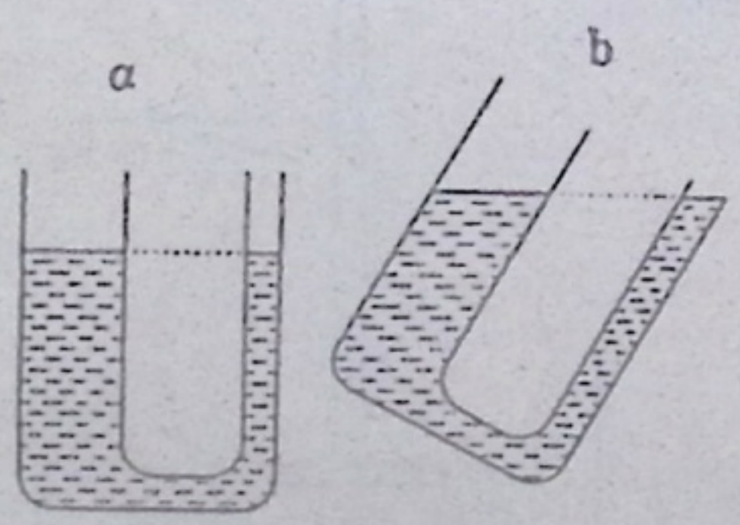
Фиг. 45.

30. **Сообщающіеся сосуды.** — Наполнимъ стаканъ до половины водой и перегородимъ его пластинкой на 2 части, сообщающіяся внизу. Вода останется въ обѣихъ частяхъ на одномъ и томъ-же уровнѣ. Если соединимъ нѣсколько сосудовъ такъ, чтобы жидкость могла поступать изъ одного сосуда въ другой, то получимъ такъ называемые **сообщающіеся сосуды** (фиг. 46). Если нальемъ въ нихъ жидкость. то уровни ея во всѣхъ сосудахъ будутъ лежать въ одной и той же плоскости *a*, *b*, *c*.



Фиг. 46.

Мы легко объяснимъ себѣ это явленіе, если вспомнимъ, что боковое давленіе столба жидкости *a* и столба жидкости *b* на какое нибудь сѣченіе соединительной трубки между *a* и *b* въ случаѣ равновѣсія должны быть равны.

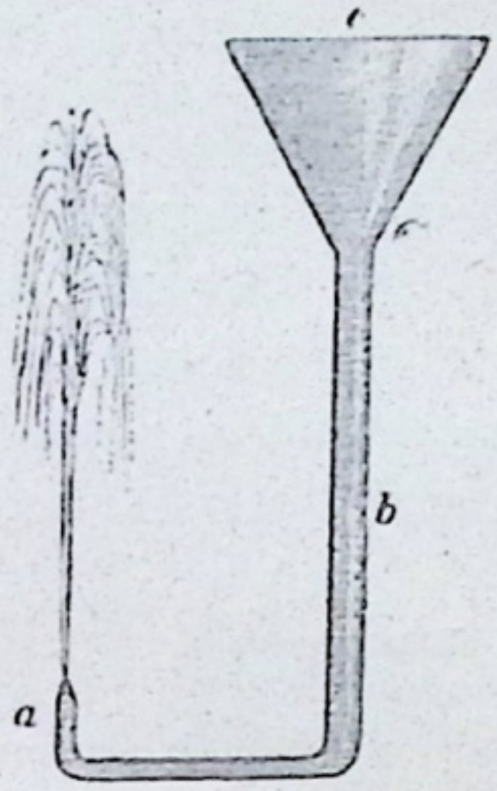


Фиг. 47.

Не представляетъ ли и тотъ приборъ, о которомъ мы говорили въ началѣ § 29 (фиг. 42), сообщающагося сосуда? Объясните тотъ-же опытъ еще разъ съ этой точки зрѣнія. Опишите и объясните на основаніи опыта, производимаго, какъ указано на фиг. 47 *a* и *b*, что происходитъ, если наклоняемъ сообщающіеся сосуды.

Возьмемъ двухколѣнную трубку (фиг. 48); одно колѣно очень короткое и оканчивается узкимъ отверстіемъ *a*, а другое длинное *b* соединено съ воронкой *c*. Наполнимъ болѣе длинную

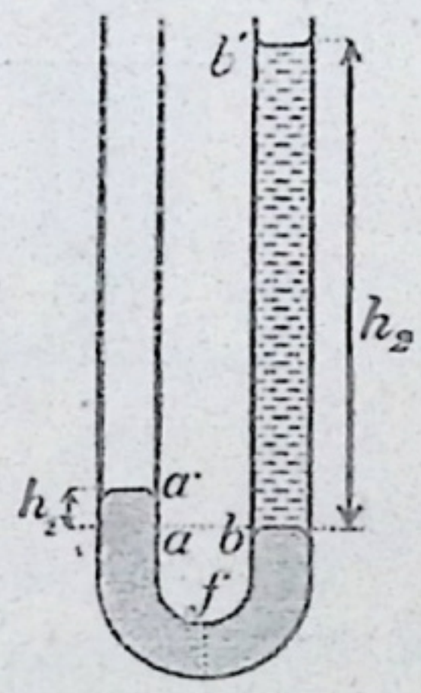
трубку *b* водой и будемъ, постепенно ее подливая, поддерживать уровень воды на одной и той-же высотѣ. Въ это время вода будетъ подниматься изъ узкаго отверстія въ видѣ струи (фонтанъ). Струя должна была бы достигать высоты, на которой находится уровень воды въ другой трубкѣ. Но благодаря тому, что струя испытываетъ сопротивленіе при выходѣ изъ узкаго отверстія и при подъемѣ въ воздухѣ, а затѣмъ понижается дѣйствіемъ обратно падающихъ капель, то она вполнѣ этого уровня достичь не можетъ.



Фиг. 48.

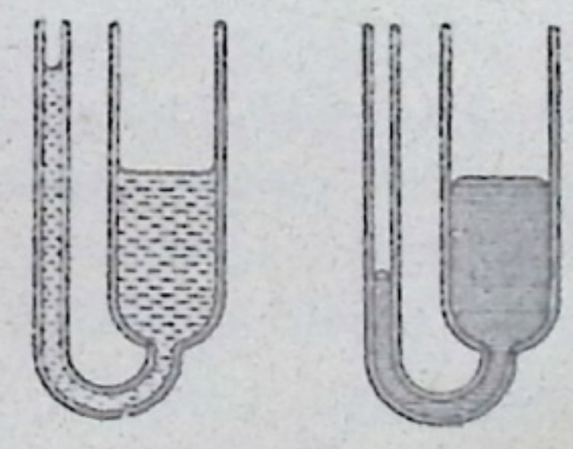
На законѣ сообщающихся сосудовъ основано употребленіе кофейниковъ и чайниковъ (опишите и объясните ихъ устройство), водопроводовъ, водомѣрныхъ трубокъ, фонтановъ и т. д. Если вблизи рѣки расположены колодцы или погреба, то вода въ нихъ прибываетъ и убываетъ одновременно съ повышеніемъ или пониженіемъ уровня въ рѣкѣ (подпочвенныя воды).

Въ сообщающихся трубкахъ (фиг. 49) находятся ртуть и вода, не смѣшивающіяся другъ съ другомъ. Почему столбъ воды h_2 въ 13,6 раза выше уравновѣшивающаго его столба ртути h_1?



Фиг. 49.

Возьмемъ двѣ сообщающіяся трубки (фиг. 50) изъ которыхъ одна очень узкая, такъ называемая волосная или капиллярная трубка. Наливъ въ такой сосудъ жидкости, мы замѣтимъ уклоненія отъ закона сообщающихся сосудовъ, а именно жидкости, капли которыхъ прилипаютъ къ стеклу — смачиваютъ его — какъ напр. вода, алкоголь и др., стоятъ въ узкой трубкѣ выше, чѣмъ въ другой широкой (фиг. 50), а тѣ жидкости, капли которыхъ на стеклѣ не держатся — не смачиваютъ, — какъ напр. ртуть, стоятъ въ узкой трубкѣ ниже, чѣмъ въ широкой (фиг. 51). Это явленіе въ волосныхъ трубкахъ называютъ **волосностью или капиллярностью** и объясняется оно силой тяжести и взаимодѣйствіемъ между молекулярными силами въ самой жидкости и сцѣпленіемъ между жидкостью и стекломъ.

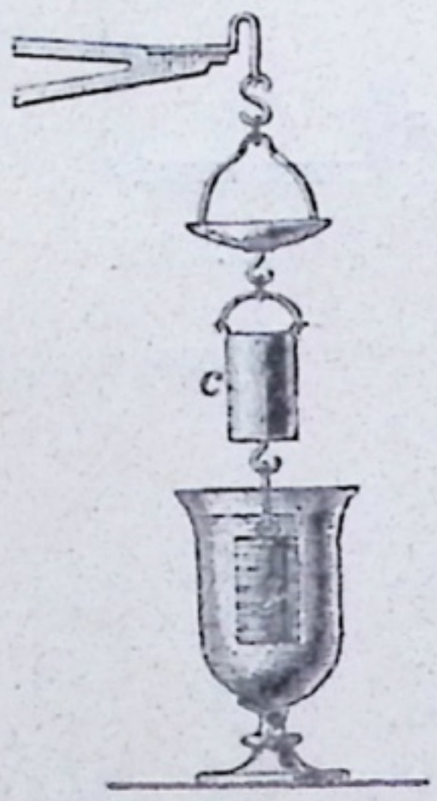

Фиг. 50. Фиг. 51.

На чемъ основано употребленіе промокательной бумаги? Почему можно осушить сырую почву, насыпавъ сверху слой песка? Опустимъ кусокъ сахара однимъ уголкомъ въ черный кофе; кофе скоро пропитаетъ весь кусокъ. Въ растеніяхъ питательные соки, извлекаемые изъ почвы, поднимаются вверхъ, благодаря волоснымъ трубочкамъ стебля. Подобнымъ-же образомъ, керосинъ поднимается по фитилю лампы и расплавленный стеаринъ—въ фитилѣ свѣчи, губка впитываетъ воду, подпочвенная вода проникаетъ въ стѣны домовъ и производитъ сырость, дерево набухаетъ въ

водѣ. Какимъ образомъ мы устраняемъ послѣднее явленіе, когда строимъ лодки? Съ какой цѣлью смачиваютъ водой деревянную посуду, если она долгое время лежитъ безъ употребленія?

Въ связи съ капиллярностью находится явленіе **осмоса**, т. е. смѣшеніе жидкостей сквозь пористыя перегородки или натянутыя перепонки (мембраны). Капиллярность и осмосъ играютъ большую роль въ процессахъ питанія организмовъ.

31. **Законъ Архимеда.** — Прикрѣпимъ къ концу коромысла чувствительныхъ вѣсовъ вмѣсто обыкновенной чашки чашку на короткихъ шнурахъ или проволокахъ съ крючкомъ внизу (фиг. 52). Такіе вѣсы называются гидростатическими. — Подвѣсимъ къ укороченной чашкѣ полый жестяной цилиндръ *c*, а къ нему массивный металлическій цилиндръ *b*, который точно пригнанъ къ полому цилиндру; на другую чашку вѣсовъ наложимъ разновѣсокъ такъ, чтобы вѣсы пришли въ равновѣсіе. Подставимъ теперь стаканъ съ водой или иной жидкостью подъ короткую чашку и погрузимъ въ него массивный цилиндръ. Равновѣсіе тотчасъ-же нарушится: та сторона вѣсовъ, къ которой подвѣшенъ цилиндръ, поднимется,—очевидно, она стала легче. Наполнимъ теперь полый цилиндръ тою-же жидкостью, въ которую мы погрузили массивный. Вѣсы снова придутъ въ равновѣсіе.



Фиг. 52.

Чтобы объяснить это явленіе, обратимъ вниманіе на то обстоятельство, что каждое погруженное въ жидкость тѣло вытѣсняетъ собой объемъ жидкости, имѣющій какъ разъ ту-же форму и величину, какъ и само погруженное тѣло. До этого вытѣсненный объемъ жидкости находился въ равновѣсіи на своемъ мѣстѣ, а значитъ вѣсъ его, который тянулъ его внизъ, былъ уравновѣшенъ другой силой, противоположно ему направленной (т. е. снизу вверхъ) и равной ему по величинѣ (**подъемная сила**). Когда же мы этотъ объемъ жидкости вытѣснили и замѣстили другимъ тѣломъ, то на послѣднее должна дѣйствовать та-же подъемная сила, которая передъ тѣмъ дѣйствовала на жидкость, и потому вѣсъ тѣла долженъ уменьшиться на величину подъемной силы, равной вѣсу объема вытѣсненной жидкости.

Отсюда вытекаетъ законъ: каждое тѣло, погруженное въ жидкость, теряетъ въ своемъ вѣсѣ столь-

ко, сколько вѣсить вытѣсненное имъ количество жидкости. Этотъ законъ былъ открытъ Архимедомъ и называется **закономъ Архимеда.**

Попробуйте поднять изъ воды большой камень! Вы почувствуете, что онъ въ воздухѣ тяжелѣе, чѣмъ въ водѣ. Если мы входимъ въ воду по шею, то уже съ трудомъ удерживаемся въ стоячемъ положеніи. Почему? Сколько теряетъ въ вѣсѣ тѣло, объемъ котораго равенъ 0,052 $цт^3$, если погрузимъ его цѣликомъ въ воду? Почему лейка, которую мы наполняемъ водой, погрузивъ напр. въ бочку, становится все тяжелѣе по мѣрѣ того, какъ мы ее вынимаемъ?

32. **Положеніе тѣла въ жидкости.** — Кусокъ дерева плаваетъ на водѣ, кусокъ желѣза тонетъ. Наоборотъ, въ ртути и желѣзо (напр. желѣзный гвоздь) плаваетъ на поверхности.

Вообще, тѣло **плаваетъ** на поверхности жидкости, т. е. часть его выступаетъ изъ жидкости въ томъ случаѣ, если подъемная сила, которая дѣйствуетъ на него внутри жидкости больше его вѣса. Тѣло плаваетъ внутри жидкости, если эта подъемная сила какъ разъ равна ея вѣсу. Наконецъ, тѣло тонетъ, если вѣсъ его больше этой подъемной силы.

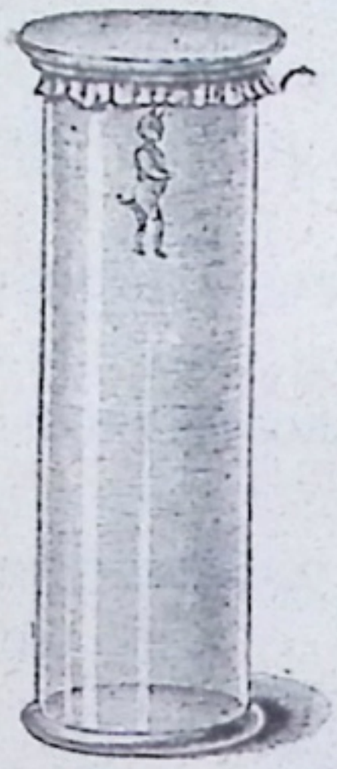
Такъ какъ подъемная сила равна вѣсу вытѣсненной жидкости въ объемѣ, равномъ объему погруженнаго тѣла, то въ случаѣ однороднаго тѣла отъ плотности (или удѣльнаго вѣса) его и жидкости зависитъ, будетъ ли тѣло плавать на поверхности, или внутри, или потонетъ. Мы можемъ поэтому вышеприведенное правило высказать и въ слѣдующей формѣ: тѣло плаваетъ на поверхности, если его плотность меньше плотности жидкости; оно плаваетъ внутри жидкости, если ихъ плотности равны; оно тонетъ, если его плотность больше плотности жидкости.

Представимъ себѣ, что площадка *ab* (фиг. 40) опустилась внизъ и совпала съ дномъ сосуда; тогда на нее дѣйствуетъ только давленіе, направленное внизъ (давленіе на дно); давленіе, направленное вверхъ, не можетъ на нее дѣйствовать, такъ какъ подъ ней жидкости больше нѣтъ. Поэтому, если придавимъ стеклянной палочкой ко дну стакана гладко срѣзанную пробку и нальемъ въ стаканъ ртути такъ, чтобы она покрыла всю пробку, то можемъ вынуть палочку и пробка все-же не всплыветъ. Ее прижимаетъ ко дну давленіе ртути сверху внизъ. Однако, если мы чуть-чуть сдвинемъ нашу пробку палочкой и ртуть проникнетъ между нею и дномъ, тотчасъ давленіе ртути, направленное внизъ, уничтожится противоположно-направленнымъ давленіемъ и пробка всплыветъ на поверхность. Этотъ опытъ можно повторить и съ кускомъ желѣза, съ гладкой нижней поверхностью. Почему?

Тѣла, плотность которыхъ больше плотности воды, можно все-же заставить плавать на поверхности. Для этого нужно, или соединить ихъ съ менѣе плотнымъ тѣломъ, или же сдѣлать въ нихъ углубленіе такъ, чтобы объемъ остался прежнимъ, а вѣсъ уменьшился. На этомъ основано: подъемъ затонувшихъ судовъ при помощи плотно закупоренныхъ пустыхъ бочекъ, постройка кораблей изъ желѣза и т. д. Человѣческое тѣло немного тяжелѣе равнаго объема воды. Что отсюда слѣдуетъ?

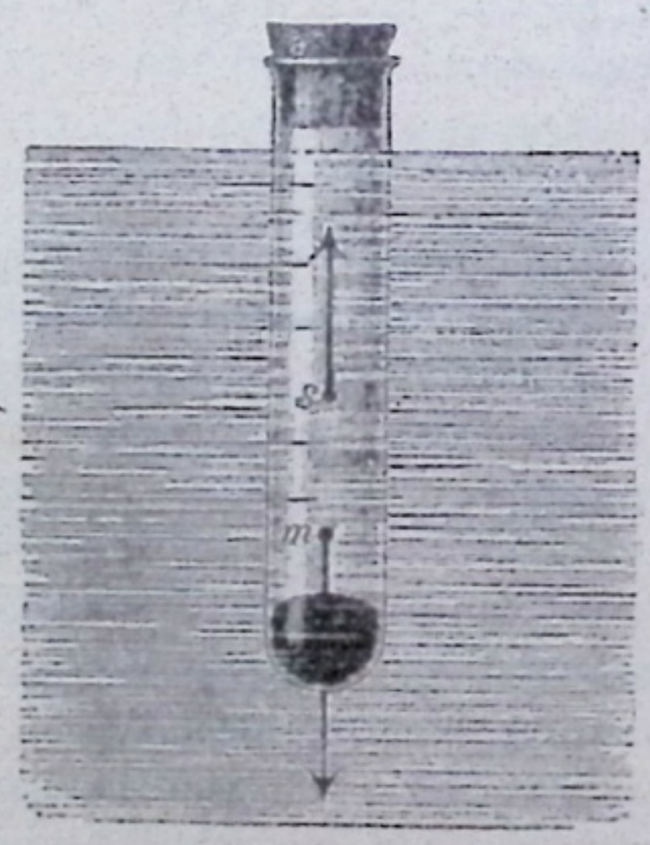
Такъ какъ человѣкъ старается всегда держать голову надъ водой, то вытѣснитъ ли онъ достаточно воды, чтобы держаться на поверхности? Съ какою цѣлью мы при плаваніи производимъ толчки о воду руками и ногами? Каково назначеніе плавательныхъ поясовъ и пузырей? Утопленниковъ вода выноситъ черезъ нѣсколько дней на поверхность, такъ какъ газы, развивающіеся при разложеніи тѣла, увеличиваютъ его объемъ. Спасательныя лодки снабжены пробочными панцырями и наполненными воздухомъ металлическими ящиками, плотно закрытыми со всѣхъ сторонъ. Съ какой цѣлью? Почему тяжело нагруженныя морскія суда приходится отчасти разгружать передъ тѣмъ, какъ ввести ихъ въ рѣку.

Картезіанскимъ водолазомъ (фиг. 53) называютъ небольшую полую стеклянную фигурку съ маленькимъ отверстіемъ внизу, которую погружаютъ въ стаканъ, наполненный доверху водой и затянутый сверху перепонкой. Наполненная воздухомъ фигурка плаваетъ на поверхности. Если станемъ давить большимъ пальцемъ на перепонку, то вода проникнетъ въ фигурку, и она опустится; если уменьшимъ давленіе, воздухъ въ фигуркѣ расширится, вода будетъ снова вытѣснена и фигурка всплыветъ. При соотвѣтственномъ давленіи на перепонку можемъ заставить нашу фигурку, по крайней мѣрѣ, короткое время плавать внутри жидкости. Такимъ образомъ, на этомъ приборѣ могутъ быть показаны всѣ три вышеописанныхъ случая положенія тѣлъ въ жидкости.



Фиг. 53.

33. Ареометръ. Опредѣленіе удѣльнаго вѣса при помощи гидростатическихъ вѣсовъ. *а).* Положимъ въ пробирку (фиг. 54) нѣсколько дробинокъ или нальемъ небольшое количество ртути; закупоримъ ее пробкой и опустимъ въ воду. Пробирка плаваетъ устойчиво: если выведемъ ее изъ положенія равновѣсія, то она послѣ нѣсколькихъ качаній вернется въ прежнее положеніе. Тѣмъ, что мы наполнили немного дробью или ртутью пробирку, мы понизили ея центръ тяжести, привели его, скажемъ, въ точку *m*. Въ этой точкѣ приложенъ вѣсъ нагруженной пробирки, который стремится двигать ее вертикально внизъ. Объемъ воды, который пробирка собою вытѣснила, имѣлъ центръ тяжести приблизительно на половинѣ своей высоты — въ точкѣ *s*. Мы можемъ поэтому представить себѣ, что къ этой же точкѣ было приложено направленное по вертикали вверхъ давленіе остальной жидкости, поддерживавшее этотъ вытѣсненный объемъ въ равновѣсіи. Это давленіе стремится теперь поднять нашу пробирку въ направленіи, указываемомъ верхней стрѣлкой, и, такъ какъ оно равно и

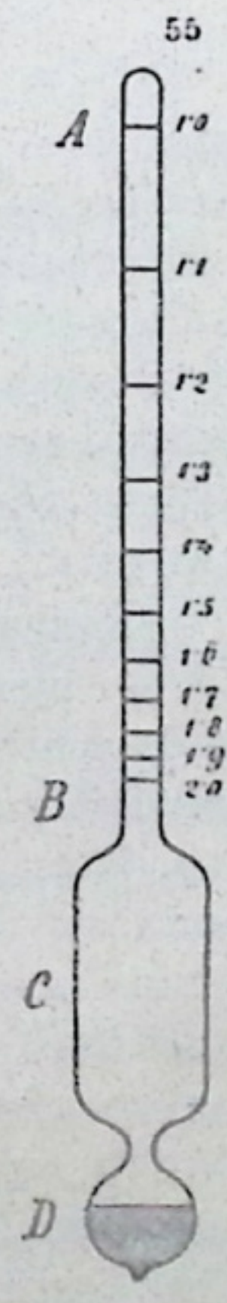


Фиг. 54.

прямо противоположно вѣсу пробирки, то послѣдняя и приходитъ въ равновѣсіе. Точка *s* (центръ тяжести объема вытѣсненной воды) представляетъ поэтому какъ бы точку подвѣса, а центръ тяжести *m* лежитъ на вертикали подъ ней. Въ этомъ случаѣ равновѣсіе устоійчиво (§ 12).

Если станемъ погружать этотъ приборъ въ жидкости различноїї плотности, напр. въ спиртъ, воду, растворъ мѣднаго купороса и т. п., то въ спиртѣ онъ опустится глубже, чѣмъ въ водѣ, а въ растворѣ мѣднаго купороса менѣе глубоко. Это легко объяснить на основаніи закона Архимеда. Пробирка должна опуститься тѣмъ глубже, чѣмъ меньше удѣльный вѣсъ жидкости, такъ какъ вѣсъ вытѣсненной жидкости въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ долженъ быть равенъ вѣсу (остающагося неизмѣннымъ) нашего прибора. Ему приходится поэтому вытѣснить большее число кубическихъ центиметровъ спирта, чѣмъ раствора мѣднаго купороса, который по удѣльному вѣсу тяжелѣе спирта. На этомъ явленіи основано устройство **ареометровъ** со шкалой. Такъ называютъ приборы, которые служатъ для опредѣленія удѣльнаго вѣса (плотности) жидкостей.

Ареометръ со шкалой (ареометръ постояннаго вѣса) (фиг. 55) представляетъ стеклянную, съ обоихъ концовъ закрытую трубку, снабженную внизу цилиндрическимъ шарообразнымъ резервуаромъ *D*, въ который предварительно насыпаютъ дроби или наливаютъ ртути. На верхней части трубки нанесена шкала *AB*, по которой можно непосредственно узнать плотность испытуемой жидкости. Для этого осторожно погружаютъ ареометръ въ жидкость и смотрятъ, до какого дѣленія онъ погрузится; это дѣленіе и указываетъ плотность жидкости. Если ареометръ предназначается для жидкостей болѣе плотныхъ, чѣмъ вода (какъ на нашемъ рисункѣ), то въ водѣ онъ опустится до верхней точки своей шкалы, обозначенной 1,0, а въ насыщенномъ растворѣ поваренной соли только до дѣленія 1,2. Въ ареометрахъ, предназначенныхъ для жидкостей меньшей плотности, чѣмъ вода, точка 1,0, соотвѣтствующая плотности воды, находится внизу. Шкала идетъ вверхъ и кончается по большей части дѣленіемъ 0,6.



Фиг. 55.

При помощи описаннаго ареометра мы можемъ легко опредѣлить плотность жидкости. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ важно узнать процентное содержаніе кислотъ, растворовъ солей, спирта и т. п. Въ такихъ случаяхъ пользуются ареометромъ, на шкалѣ котораго указаны не плотности, а процент-

ное содержаніе соли, спирта и т. п. Точка, соотвѣтствующая чистой водѣ, обозначается цифрой 0; дѣленія на шкалѣ идутъ отъ 0 до 100.

Къ ареометрамъ, указывающимъ процентное содержаніе, принадлежитъ и спиртомѣръ. Дѣленія его шкалы указываютъ сколько литровъ безводнаго (абсолютнаго) спирта содержится въ гектолитрѣ изслѣдуемаго разбавленнаго раствора. Такъ, если онъ опустится до дѣленія 75, значитъ на гектолитръ приходится 75 литровъ, т. е. 75% безводнаго спирта. На практикѣ употребляются и другіе ареометры подобнаго типа для измѣренія процентнаго содержанія щелочей, молока и т. п. Показанія ареометра не достаточны для того, чтобы судить о качествѣ жидкости, если оно зависитъ не только отъ плотности. Такъ, если ареометръ погружается въ испытуемомъ молокѣ до того-же дѣленія, какъ и въ хорошемъ, то первое все-же можетъ заключать подмѣси и быть плохого качества.

б) На основаніи закона Архимеда можно **опредѣлить удѣльный вѣсъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ** при помощи гидростатическихъ вѣсовъ. Если желаемъ опредѣлить удѣльный вѣсъ какого-нибудь минерала, напр. горнаго хрусталя, то для этого достаточно найти его вѣсъ, а затѣмъ — потерю въ вѣсѣ, которую онъ испытываетъ при погруженіи въ воду. Если его вѣсъ равенъ 31,2 **гр**, а въ водѣ онъ теряетъ 12 **гр**, то значитъ онъ вытѣсняетъ собой 12 **цт**^{3} воды, и объемъ его равенъ 12 **цт**^{3}. А разъ 12 **цт**^{3} горнаго хрусталя вѣсятъ 31,2 **гр**, то 1 **цт**^{3} вѣситъ

$$\frac{31{,}2 \text{ гр}}{12} = 2{,}6 \text{ гр.}$$

Удѣльный вѣсъ жидкости опредѣляемъ слѣдующимъ образомъ: узнаемъ сперва сколько теряетъ въ вѣсѣ какое-нибудь тѣло (напр. стеклянная пробка), будучи погружено въ данную жидкость (столько, слѣдовательно, вѣситъ равный ему по величинѣ объемъ испытуемой жидкости), а затѣмъ погружаемъ то же тѣло въ воду и изъ потери въ вѣсѣ опредѣляемъ, сколько кубическихъ центиметровъ воды вытѣснитъ эта стеклянная пробка, т. е. узнаемъ ея объемъ. Раздѣливъ первое число на второе, узнаемъ удѣльный вѣсъ жидкости.

Задачи. 1. Сколько теряетъ въ вѣсѣ кусокъ желѣза (плотность 7,8) вѣсомъ въ 78 **гр** при погруженіи въ воду, сколько — при погруженіи въ растворъ поваренной соли (плотность 1,2) и сколько — въ спиртѣ (плотность 0,8)? **2.** Кусокъ алюминія (плотность 2,1) и кусокъ мѣди (плотность 8,9) теряютъ въ водѣ по 100 **гр**. Какъ велики ихъ объемы и сколько вѣситъ каждый изъ нихъ? **3.** Если въ водѣ вы въ состояніи поднять камень (плотность 2,8) вѣсомъ въ 140 **кгр**, какого вѣса камень вы сможете поднять въ воздухѣ? **4.** Кусокъ сѣры вѣситъ въ воздухѣ 20,7 **гр**, въ водѣ 10,7 **гр**; какъ великъ его объемъ и чему равенъ удѣльный вѣсъ сѣры? **5.** Стеклянная пробка теряетъ при погруженіи въ сѣрную кислоту 44,1 **гр**, при погруженіи въ воду — 24,5 **гр**. Вычислите удѣльный вѣсъ сѣрной кислоты. **6.** Латунный цилиндръ (плотность 8,4); который теряетъ въ водѣ 16,5 **гр**, вѣситъ, будучи погруженъ въ спиртъ, 125,4 **гр**. Вычислите плотность спирта.

V. О газахъ.

34. **Свойства газовъ.** — Частицы газовъ еще болѣе **подвижны**, чѣмъ частицы жидкости. Газы отличаются отъ жидкостей прежде всего тѣмъ, что они **легко сжимаются.** (Опытъ можетъ быть произведенъ съ приборомъ, изображеннымъ на фиг. 29 стр. 25; наполняемъ его теперь воздухомъ или инымъ газомъ). Другое ихъ отличіе заключается въ томъ, что они **стремятся расшириться** (§ 22). Поэтому они всегда производятъ на стѣнки сосуда, въ коемъ они заключены, нѣкоторое давленіе, которое мы называемъ **упругостью**; при опредѣленіи величины давленія мы обыкновенно указываемъ его величину, приходящуюся на 1 **цт**^{2} поверхности.

35. **Вѣсъ воздуха и газовъ.** — Возьмемъ стеклянный шаръ (фиг. 56) вмѣстимостью въ нѣсколько литровъ, снабженный металлической оправой съ краномъ, такъ что внутренность шара можно сообщать съ наружнымъ воздухомъ или же разобщать. Подвѣсимъ шаръ къ коромыслу вѣсовъ вмѣсто одной изъ чашекъ и, положивъ дробь, разновѣски или т. п. на другую чашку, приведемъ вѣсы въ равновѣсіе. (Когда мы дробью или чѣмъ нибудь другимъ уравновѣшиваемъ грузъ, дѣйствующій на другое плечо вѣсовъ, то этотъ процессъ часто называютъ „тарированіемъ“, а нагрузку, которую мы наложили: — „тарой“). Если мы теперь удалимъ изъ шара воздухъ (это достигается при помощи воздушнаго насоса, который опишемъ ниже), то шаръ окажется легче, чѣмъ былъ до того. Откроемъ кранъ; воздухъ со свистомъ врывается внутрь; шаръ становится тяжелѣе и наконецъ пріобрѣтаетъ тотъ же вѣсъ, который былъ до начала опыта. — Вмѣсто того, чтобы впускать воздухъ, мы могли бы наполнить шаръ какимъ-нибудь другимъ газомъ, напр. свѣтильнымъ. Шаръ опустится и въ этомъ случаѣ, и отсюда заключаемъ, что и другіе газы обладаютъ вѣсомъ, который можетъ быть больше или меньше вѣса равнаго объема воздуха.

Фиг. 56.

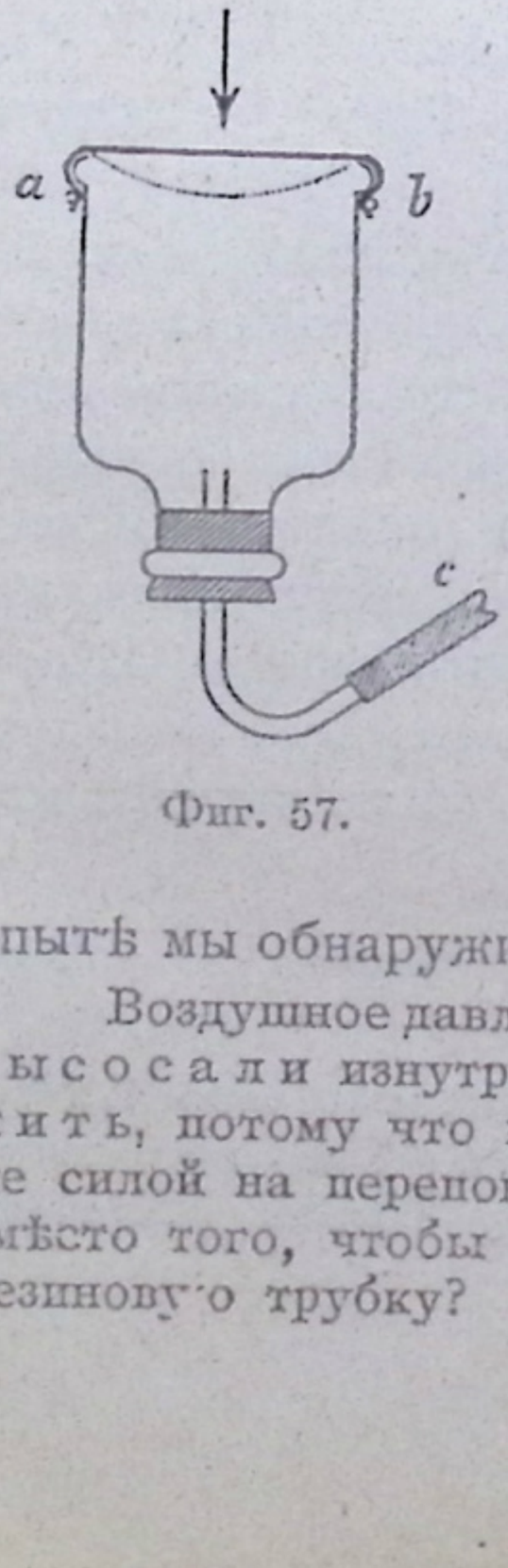
Эти опыты доказываютъ, что **воздухъ**, какъ и всѣ другіе **газы, имѣетъ вѣсъ.**

Было найдено, что 1 **л.** воздуха вѣситъ приблизительно 1,3 **гр.** (точнѣе 1,293 **гр**); 1 **цт**^{3} воздуха вѣситъ 1,3 **мгр**, 1 **м**^{3} воздуха — 1,3 **кгр.** Удѣльный вѣсъ воздуха равенъ поэтому 0,0013 вѣсовыхъ

единицъ (точнѣе — 0,001293 вѣсовыхъ единицъ) или $\frac{13}{10000} = \frac{1}{10000:13}$ или круглымъ числомъ $\frac{1}{770}$ вѣсовой единицы, т. е. только $\frac{1}{770}$ вѣса воды.

Задачи. 1. Сколько вѣситъ воздухъ въ классѣ, имѣющемъ 10 м. въ длину, 6 м. въ ширину и 4 м. въ вышину? 2. Какъ великъ удѣльный вѣсъ свѣтильнаго газа, если его плотность равна 0,5 плотности воздуха? 3. Углекислый газъ имѣетъ удѣльный вѣсъ 0,00198. Во сколько разъ онъ тяжелѣе воздуха и чему равна его плотность, если плотность воздуха примемъ за единицу? 4. Самый легкій изъ всѣхъ газовъ—водородъ обладаетъ удѣльнымъ вѣсомъ 0,000089. Во сколько разъ воздухъ тяжелѣе его?

36. **Давленіе воздуха.** — Такъ какъ твердыя тѣла и жидкости оказываютъ вслѣдствіе своей тяжести давленіе на неподвижную горизонтальную подставку, то слѣдуетъ ожидать, что и воздушная оболочка земли, такъ называемая **атмосфера**, которая, какъ мы уже знаемъ, также имѣетъ вѣсъ, будетъ производить давленіе на находящіяся подъ ней тѣла. Это давленіе называютъ **давленіемъ атмосферы** или же **воздушнымъ давленіемъ**. Мы можемъ подтвердить наше предположеніе слѣдующимъ опытомъ. Возьмемъ небольшую банку съ отрѣзаннымъ дномъ (фиг. 57), вмѣсто котораго плотно натянемъ очень тонкую каучуковую перепонку *ab*. Горлышко банки плотно закрыто пробкой, черезъ которую проходитъ колѣнообразно-согнутая стеклянная трубка; на нее надѣта резиновая трубка *c*. Мы можемъ удалить изъ банки часть заключеннаго въ ней воздуха, высасывая его черезъ трубку; при этомъ упругое дно банки вдавливается внутрь и занимаетъ положеніе, обозначенное на рисункѣ пунктиромъ. Это показываетъ намъ, что на каучуковую перепонку дѣйствуетъ давленіе, направленное внутрь; это давленіе можетъ быть вызвано только вѣсомъ столба воздуха, опирающагося на перепонку. Итакъ, въ этомъ опытѣ мы обнаруживаемъ существованіе давленія атмосферы.

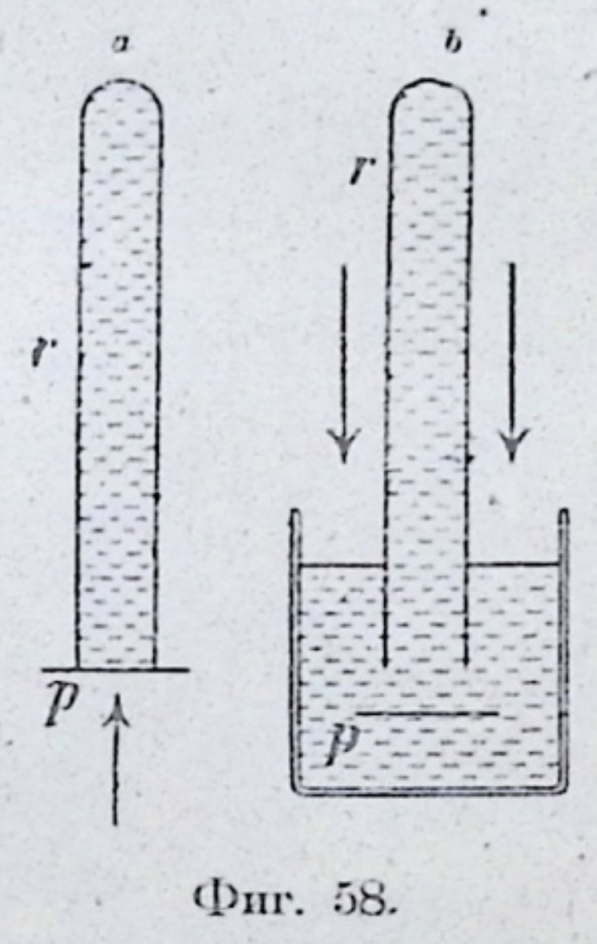


Фиг. 57.

Воздушное давленіе дѣйствовало и до того, какъ мы высосали изнутри воздухъ, но его нельзя было обнаружить, потому что находившійся внутри воздухъ давилъ съ такой-же силой на перепонку снизу вверхъ. Что произойдетъ, если мы вмѣсто того, чтобы высасывать, станемъ вдувать воздухъ черезъ резиновую трубку?

Сравните давленіе воздуха съ гидростатическимъ давленіемъ въ жидкостяхъ. Описанный выше опытъ удается и въ томъ случаѣ, если каучуковая перепонка будетъ занимать какое нибудь другое положеніе (не непремѣнно горизонтальное наверху). Итакъ, давленіе воздуха дѣйствуетъ во всѣхъ направленіяхъ. Сравните этотъ приборъ съ приборами, изображенными на фиг. 35, 36 и 37 стр. 27 и 28.

Погрузимъ стеклянную трубку, открытую съ обоихъ концовъ, въ воду такъ, чтобы она вся ею наполнилась. Затѣмъ закроемъ верхнее отверстіе пальцемъ и поднимемъ трубку въ вертикальномъ положеніи изъ воды. Вода изъ трубки не вытекаетъ. Лишь только мы откроемъ отверстіе, вода тотчасъ-же начнетъ вытекать. Этотъ опытъ показываетъ, что давленіе воздуха дѣйствуетъ и снизу вверхъ. Въ самомъ дѣлѣ, подъ дѣйствіемъ тяжести вода должна была-бы вытекать изъ трубки. Однако, пока верхнее отверстіе трубки закрыто, она, какъ мы видѣли, не вытекаетъ. Отсюда нужно заключить, что существуетъ какое-то давленіе снизу вверхъ, которое больше вѣса воды; а такъ какъ подъ водой и вокругъ трубки находится только воздухъ, то онъ и долженъ оказывать это направленное вверхъ давленіе. Если откроемъ верхнее отверстіе трубки, то воздухъ давитъ и съ этого конца и при томъ сверху внизъ; послѣднимъ давленіемъ уравновѣшивается первое, направленное снизу вверхъ, и вода подъ дѣйствіемъ тяжести вытекаетъ изъ трубки.

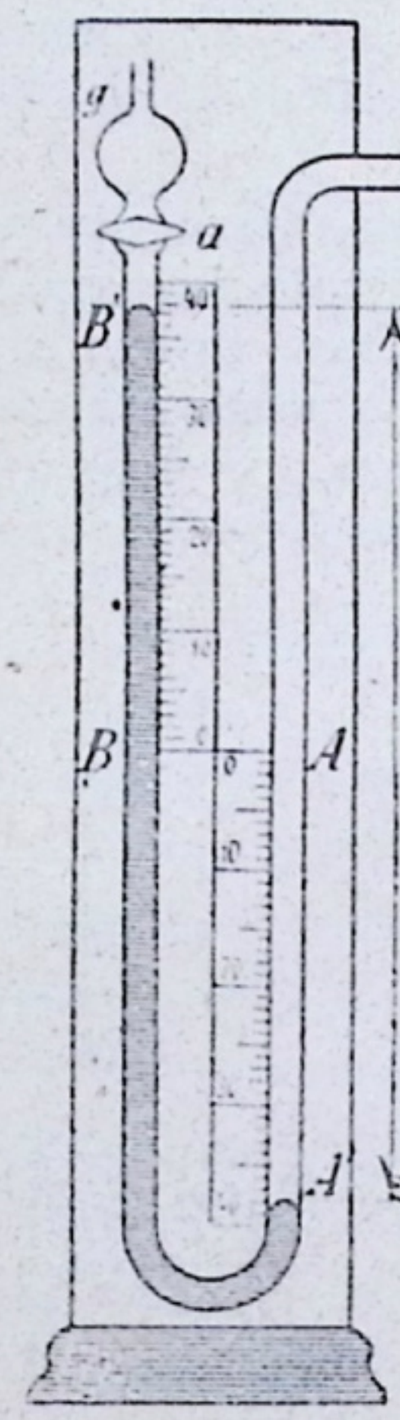


Фиг. 58.

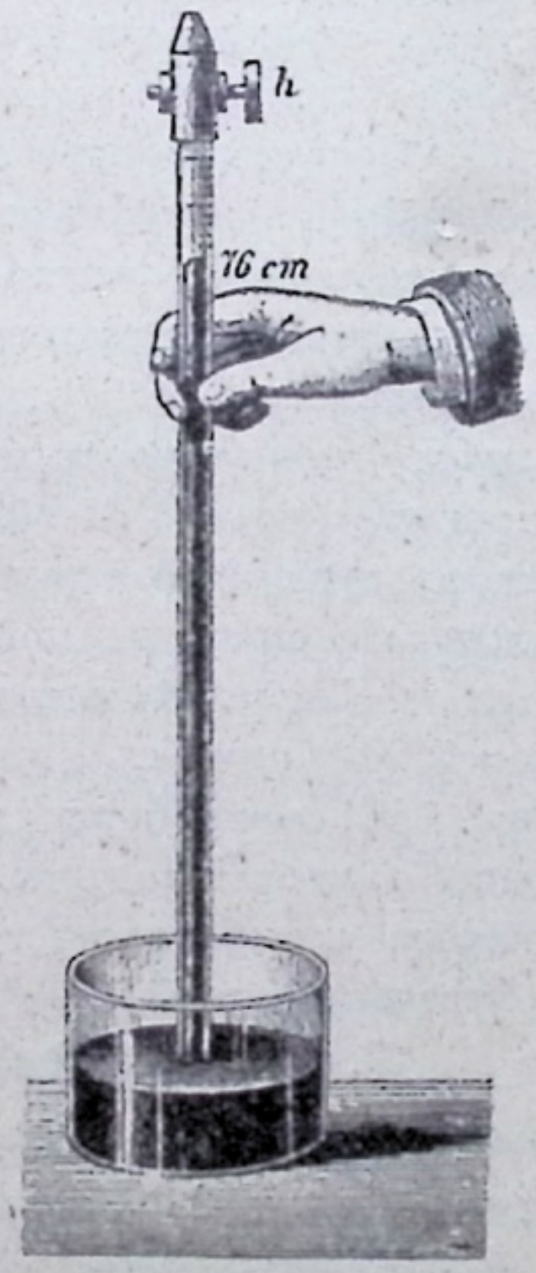
Возьмемъ большую пробирку и наполнимъ ее водой. Если опрокинемъ ее, то вода, какъ мы знаемъ изъ ежедневнаго опыта, вытечетъ. Мы беремъ листикъ бумаги, накладываемъ на наполненную доверху пробирку, придавливаемъ его на одинъ моментъ большимъ пальцемъ и опрокидываемъ пробирку. Вода не вытекаетъ; листикъ бумаги *p* (фиг. 58*a*) прижимается дѣйствующимъ вверхъ давленіемъ воздуха къ отверстію пробирки. Въ случаѣ узкой трубки *r* вода остается какъ бы подвѣшенной въ ней и безъ листика бумаги; послѣдняя берется только для того, чтобы помѣшать водѣ стекать съ краевъ. Если погрузимъ нижнюю часть нашей пробирки съ листикомъ бумаги (фиг. 58*a*) въ воду, то бумага отпадаетъ (фиг. 58*b*), а пробирка все-же остается наполненной водой. Очевидно давленіе воздуха, дѣйствующее на поверхность воды въ стаканѣ, поддерживаетъ столбъ воды въ пробиркѣ (приборъ этотъ употребляется химиками для собиранія газовъ).

37. **Опытъ Торичелли. Величина давленія атмосферы.** U-образная трубка длиною приблизительно въ 1 м. (фиг. 59) снабжена плотно закрывающимъ стекляннымъ краномъ (*a*), надъ которымъ находится грушевидное расширеніе *g*. Весь приборъ укрѣпленъ на вертикальной деревянной доскѣ съ тяжелымъ металлическимъ основаніемъ. На передней сторонѣ доски нанесены дѣленія въ центиметрахъ. Пока кранъ открытъ, налитая въ трубку ртуть стоитъ въ обоихъ колѣнахъ *A* и *B* на одинаковой высотѣ

Давленіе воздуха ничего въ этомъ явленіи не можетъ измѣнить, такъ какъ оно одинаково по величинѣ въ *A* и *B*. Мы бы должны были, однако, обнаружить его въ *A*, если бы удалось устранить его дѣйствіе въ *B*. Это достигается слѣдующимъ образомъ: оставивъ кранъ открытымъ, наклоняемъ трубку, пока колѣно съ краномъ не наполнится все ртутью, и немного ея проникнетъ даже въ сосудъ *g*; тогда закрываемъ кранъ *a* и ставимъ приборъ снова вертикально. Ртуть въ закрытомъ колѣнѣ падаетъ при этомъ немного ниже крана — до B', а въ открытомъ останавливается въ A'. Такъ какъ выше B' воздуха нѣтъ (въ этомъ можемъ убѣдиться, снова наклоняя трубку), то тамъ нѣтъ и давленія воздуха, а давленіе атмосферы, дѣйствующее въ A', уравновѣшивается давленіемъ столба ртути между A' и B' высотой нѣсколько больше 70 **цт**. Обозначимъ его высоту черезъ *b* (въ цтм.) и возьмемъ трубку съ поперечнымъ сѣченіемъ равнымъ 1 **цт²**, тогда величина давленія воздуха, выраженная въ граммахъ, будетъ равна $b \times S$, гдѣ S обозначаетъ удѣльный вѣсъ ртути. Итакъ, если $b = 76$ **цт**, $S = 13{,}6$ единицъ вѣса (при 0° **Ц.**), то давленіе воздуха на 1 **цт²** оказывается равнымъ давленію въ 1033 **гр**, или круглымъ числомъ 1 **кгр**. Это давленіе воздуха, соотвѣтствующее давленію столба ртути въ 76 **цт** при 0°, называютъ нормальнымъ и говорятъ, что оно равно давленію одной **атмосферы** (1 **атм.**).



Фиг. 59.



Фиг. 60.

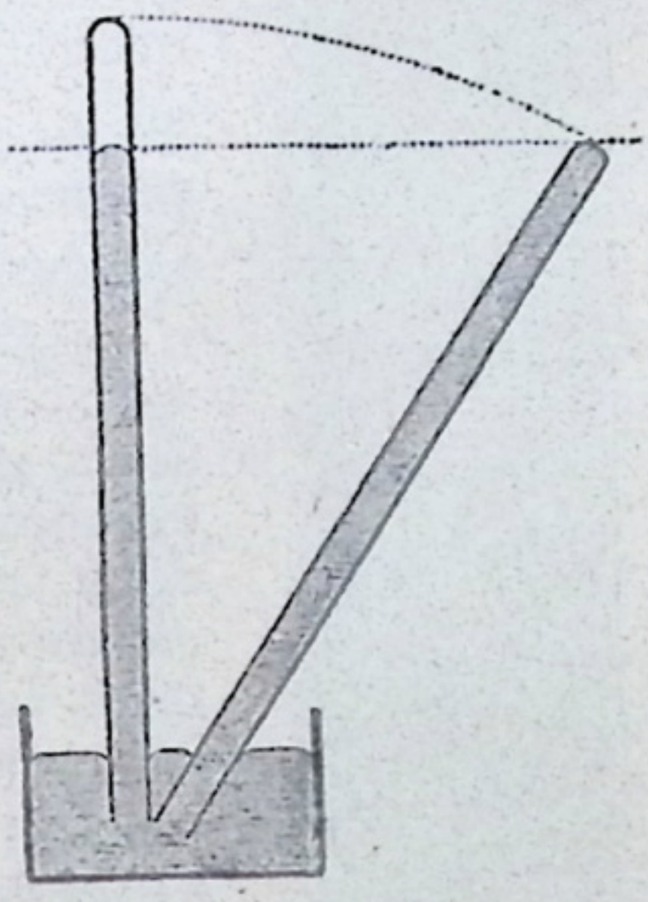
Описанный выше опытъ былъ впервые произведенъ Торичелли, ученикомъ Галилея, въ 1643 году и называется поэтому **опытомъ Торичелли**. По Торичелли онъ ставится слѣдующимъ образомъ:

Беремъ стеклянную трубку длиной приблизительно въ 80 **цт**, открытую съ одного конца, а съ другого запаянную или же снабженную краномъ *h* (фиг. 60); на трубкѣ нанесены дѣленія. Наполняемъ трубку доверху ртутью и, плотно закрывъ пальцемъ отвер-

стіе, опрокидываемъ ее и погружаемъ открытый конецъ въ ртуть. Теперь можемъ отнять палецъ, ртуть въ трубкѣ немного упадетъ и уровень ея устанавливается обыкновенно на высотѣ около 70 цт; вверху надъ ртутью будетъ безвоздушное пространство Дѣйствительно, если нальемъ поверхъ ртути въ наружный сосудъ подкрашенной воды и поднимемъ трубку настолько высоко, что ея нижнее отверстіе окажется уже не въ ртути, а въ подкрашенной водѣ, то ртуть выльется изъ трубки, а на ея мѣсто вступитъ вода и заполнитъ собой всю трубку, чего не могло бы быть, если бы поверхъ ртути находился еще воздухъ.

Если откроемъ кранъ *h* наполненной ртутью трубки, то столбъ ртути падаетъ и ея уровень устанавливается на одной и той-же высотѣ снаружи и внутри трубки. (Почему?).

Мы можемъ также доказать, что надъ ртутью въ трубкѣ на рис. 60 находится безвоздушное пространство и тѣмъ, что, если наклонимъ трубку, оставляя нижнее отверстіе погруженнымъ въ ртуть (фиг. 61), то она вся заполнится ртутью. Безвоздушное пространство надъ ртутью называютъ также торичелліевой пустотой или вакуумъ.



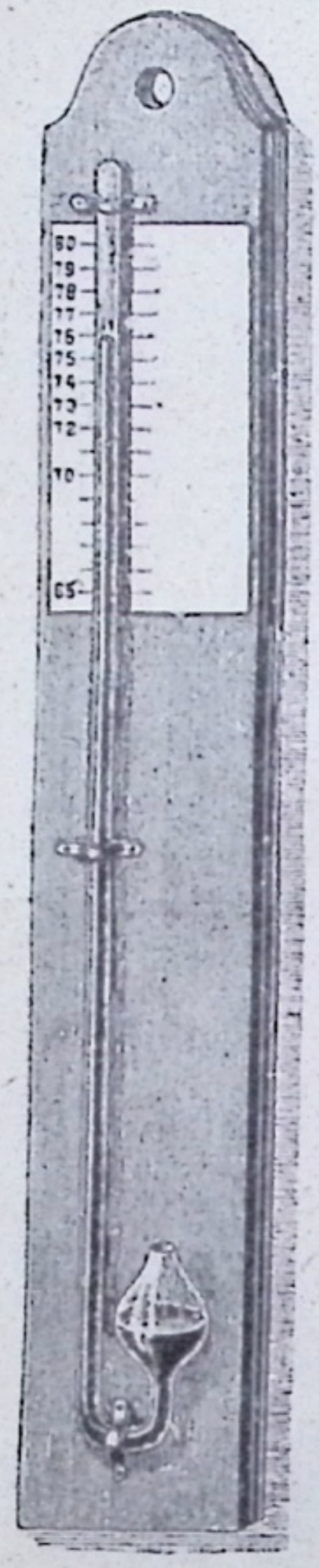
Фиг. 61.

Можно ли воспроизвести опытъ Торичелли съ водой вмѣсто ртути? Какой длины трубку пришлось бы взять въ такомъ случаѣ? — Такъ какъ давленіе воздуха на 1 **цт**^{2} равно приблизительно 1 **кгр**, то на крышку стола площадью въ 1 **м**^{2} дѣйствуетъ давленіе въ 10000 **кгр** = 10 **тоннъ**. Это давленіе проломило-бы крышку, если бы на нее не дѣйствовало такое-же давленіе снизу вверхъ. Поверхность тѣла взрослаго человѣка равна приблизительно 1,5 **м**^{2}; какъ велико давленіе на нее атмосферы? Въ человѣческомъ тѣлѣ воздухъ давитъ съ такою же силой изнутри наружу, и все тѣло въ своемъ строеніи приспособлено къ этому давленію, поэтому мы его переносимъ безъ вреда и даже не чувствуемъ. Однако рѣзкія измѣненія давленія могутъ быть для насъ опасны (горная болѣзнь, болѣзнь работающихъ въ кессонахъ).

Задачи: 1. Какъ велико нормальное давленіе атмосферы на 1 **дцм**^{2}, на 0,5 **дцм**^{2}? 2. Сколькимъ граммамъ равно воздушное давленіе на 1 **цт**^{2} (на 1 **дцт**^{2}), если ртуть стоитъ въ торичелліевой трубкѣ на высотѣ 72 **цт**? 3. Какой длины должна быть торичелліевая трубка для того, чтобы можно было произвести описанный опытъ со спиртомъ (0,8) вмѣсто ртути? 4. Для опыта, изображеннаго на фиг. 58*а*, взятъ стаканъ, высота котораго равна 8 **цт**, а площадь сѣченія 28 **цт**^{2} (что соотвѣтствуетъ діаметру приблизительно въ 6 **цт**). Сколькимъ граммамъ равно нормальное давленіе атмосферы на закрывающій его листъ бумаги? Съ какой силой (въ граммахъ) давитъ на эту бумагу находящаяся въ стаканѣ вода? — 5. Сколько кубическихъ центиметровъ воздуха (удѣльный вѣсъ 0,0013) пришлось бы наложить другъ на друга, чтобы они оказывали на 1 **цт**^{2} давленіе, равное давленію 1 цт ртутнаго столба?

38. **Барометръ.** — Если долгое время будемъ слѣдить за высотой ртути въ торичелліевой трубкѣ (фиг. 59 и 60) или же

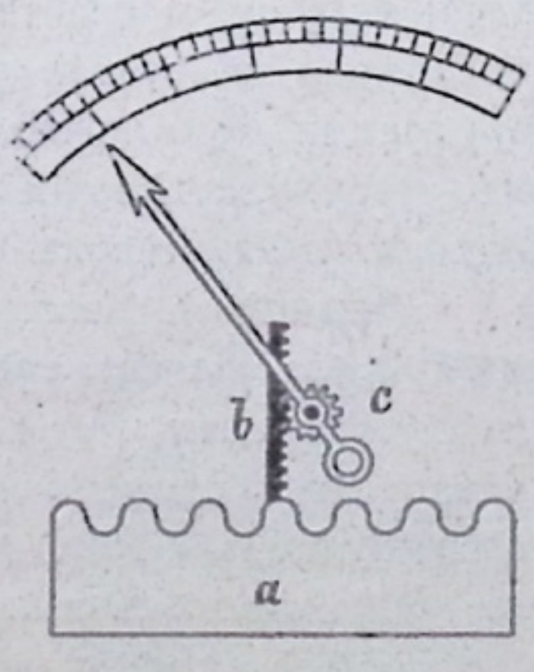
будемъ производить наблюденія въ различныхъ мѣстахъ, то замѣтимъ, что уровень ртути не всегда остается на одной и той же высотѣ. Слѣдовательно, давленіе воздуха въ разное время и въ разныхъ мѣстахъ бываетъ различно. Приборъ, при помощи котораго производятся измѣренія давленія атмосферы, называется **барометромъ**.



Фиг. 62.

Приборъ, изображенный на фиг. 59, наполненный совершенно чистой, безъ пузырьковъ воздуха ртутью, называютъ сифоннымъ барометромъ. Онъ вполнѣ пригоденъ для точныхъ измѣреній, но нѣсколько неудобенъ, такъ какъ для того, чтобы опредѣлить высоту ртутнаго столба, приходится дѣлать два отсчета. Если вблизи A' (на фиг. 59) сдѣлать грушевидное расширеніе, то будемъ имѣть болѣе простой, хотя и менѣе точный барометръ (фиг. 62).

Отчего при употребленіи барометровъ послѣдняго типа измѣренія менѣе точны? Какимъ образомъ можно уменьшить эту неточность? На шкалѣ барометровъ часто имѣются надписи: хорошая погода, перемѣнно, дождь, буря и т. п., которыя указываютъ, какую погоду можно ожидать, судя по высотѣ барометра. Въ дѣйствительности по большей части повышеніе давленія указываетъ на наступленіе хорошей погоды, паденіе — на приближеніе дурной погоды. Однако, предсказанія погоды по одному только барометру не всегда надежны, напр. случается, что дождь идетъ при высокомъ барометрическомъ давленіи.



Фиг. 63.

Барометры устраиваются также и безъ ртути въ формѣ большихъ карманныхъ часовъ; они называются барометрами анероидами. Какъ устроенъ такой барометръ видно на фиг. 63. Онъ состоитъ изъ плотно запаянной металлической коробки *a* изъ волнистой жести; воздухъ изъ коробки удаленъ. Одна сторона коробки припаяна къ задней стѣнкѣ футляра, въ которомъ помѣщенъ приборъ. Атмосферное давленіе дѣйствуетъ на жестяную коробку, при чемъ съ увеличеніемъ его свободная стѣнка вдавливается внутрь, съ уменьшеніемъ же давленія стѣнка, благодаря своей упругости, возвращается въ первоначальное положеніе. Движенія стѣнки вверхъ и внизъ передаются зубчаткой *b* колесику *c*, къ которому прикрѣплена длинная стрѣлка, указывающая на шкалѣ величину давленія.

Атмосферное давленіе на высокихъ горахъ меньше, чѣмъ на уровнѣ моря. Можно показать, что оно тѣмъ меньше, чѣмъ выше мы поднимемся надъ землей. Поэтому воздухъ въ нижнихъ слояхъ атмосферы болѣе сжатъ, чѣмъ въ верхнихъ. (Объясните это явленіе на основаніи слѣдующаго сравненія: если наложимъ въ видѣ столба слои ваты другъ на друга, то они, благодаря своему вѣсу, будутъ оказывать давленіе на нижеслѣдующіе слои. Будетъ ли давленіе во всѣхъ частяхъ столба одинаково? Гдѣ будетъ наибольшее? Почему оно убываетъ при переходѣ къ вышележащимъ слоямъ? Что произойдетъ съ нижними слоями вслѣдствіе этого давленія?). Измѣряя при помощи барометра давленіе атмосферы у подножія горъ, затѣмъ на ихъ склонахъ и вершинѣ, можно показать, что **давленіе убываетъ по мѣрѣ того, какъ мы поднимаемся**.

На этомъ явленіи, открытомъ въ 1648 г. Паскалемъ[1]), основано измѣреніе высоты при помощи барометра. Наблюденіями установлено, что барометръ понижается на 1 **цт**, если мы поднимаемся приблизительно на 160 **м** (ср. задачу **5** на стр. 43). Однако этотъ законъ съ нѣкоторымъ приближеніемъ годится только для небольшихъ подъемовъ. На очень большой высотѣ воздухъ настолько разрѣженъ, что его не хватаетъ для дыханія (горная болѣзнь). Объясните почему воздухъ, заключенный въ водолазномъ колоколѣ, сильно сжатъ.

39. **Героновъ шаръ**. — Черезъ пробку большой аптечной бутылки (фиг. 64) вставимъ почти до дна стеклянную трубку *r*, открытую снизу, а наверху снабженную узкимъ отверстіемъ *o*. Трубка и пробка должны быть вставлены такъ плотно, чтобы воздухъ не могъ просачиваться. Наполнимъ бутылку до половины водой и, закрывъ ее плотно пробкой съ трубкой, станемъ вдувать черезъ отверстіе *o* воздухъ; онъ будетъ пузырями подниматься въ водѣ. Если послѣ этого откроемъ отверстіе *o*, то оттуда будетъ бить струя; ея высота будетъ постепенно убывать, пока явленіе прекратится.

Фиг. 64.

Вдувая воздухъ, мы сгущаемъ его надъ водой; вмѣстѣ съ этимъ очевидно растетъ его упругость, такъ какъ вода подымается въ трубкѣ и тонкой струей вырывается изъ отверстія *o*. По мѣрѣ того, какъ вода въ бутылкѣ убываетъ, заключенный воздухъ расширяется, его давленіе приближается къ давленію наружнаго воздуха, фонтанъ перестаетъ бить. Описанный приборъ называютъ **Героновымъ шаромъ**.

---

[1]) Блэзъ Паскаль (род. въ 1623 г. въ Клермонъ-Ферронѣ, ум. въ 1662 г. въ Парижѣ) былъ выдающимся математикомъ и сдѣлалъ также значительныя открытія въ области физики. Изъ нихъ нужно особенно отмѣтить опытное обоснованіе гидростатическаго парадокса и возбужденіе вопроса объ измѣреніи высотъ при помощи барометра.

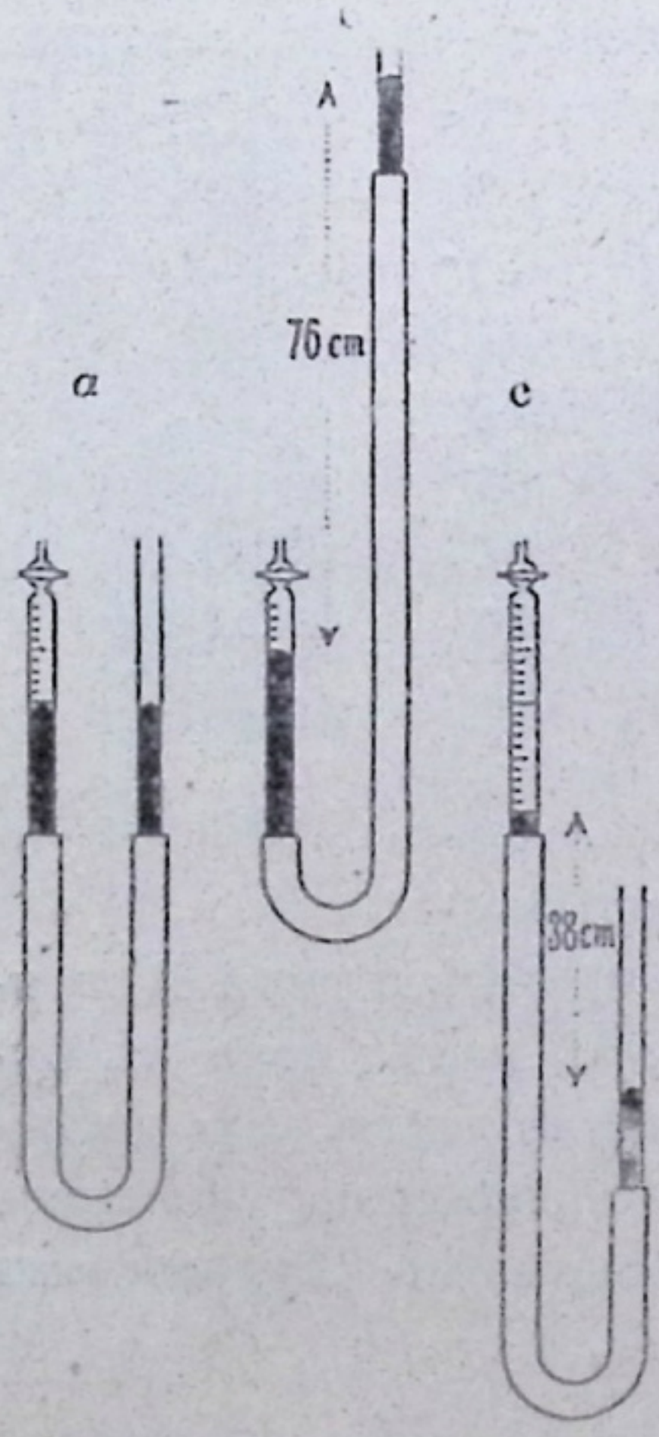
Изобрѣтеніе описаннаго прибора (неправильно) приписывалось греческому математику Герону Александрійскому (около 100 г. до Р. Хр.), почему и дано было такое названіе. Сифонъ съ зельтерской водой представляетъ собой героновъ шаръ.

Надѣнемъ на трубку геронова шара резиновую трубку длиной въ 1—2 м; въ верхній ея конецъ вставимъ воронку. Поставивъ героновъ шаръ на полъ, будемъ держать трубку вертикально слегка натянутой и нальемъ въ воронку воды. Что при этомъ произойдетъ? Что мы будемъ наблюдать, если снимемъ затѣмъ резиновую трубку съ отверстія *o*?

Изъ опытовъ съ героновымъ шаромъ мы узнаемъ, что упругость воздуха (и всякаго другого газа) возрастаетъ по мѣрѣ его уплотненія.

На увеличеніи упругости воздуха при сгущеніи основано, между прочимъ, духовое ружье и т. п.

40. **Законъ Бойля и Маріотта.** — На вертикальной планкѣ, съ дѣленіями въ центиметрахъ, укрѣплены двѣ подвижныя стеклянныя трубки, соединенныя между собой толстостѣнной резиновой трубкой (фиг. 65*a*). Одна изъ нихъ имѣетъ по всей своей длинѣ одинаковую ширину и снабжена плотно запирающимъ стекляннымъ краномъ. Резиновая трубка и часть стеклянныхъ наполнены ртутью. Оставивъ кранъ сперва открытымъ, мы приводимъ обѣ трубки въ положеніе, указанное на фиг. 65*a*, и затѣмъ закрываемъ кранъ. Надъ ртутью въ закрытой трубкѣ находится цилиндрическій столбъ воздуха, длина котораго равна, скажемъ, 10 **цт.** Заключенный въ трубкѣ воздухъ обладаетъ всѣми свойствами наружнаго воздуха. Упругость его равна внѣшнему давленію, а это послѣднее мы можемъ измѣрить при помощи барометра. Положимъ, что высота столба ртути барометра равна какъ разъ 76 **цт.** Станемъ поднимать открытую трубку; уровень ртути въ закрытомъ колѣнѣ будетъ повышаться; продолжаемъ поднимать трубку до тѣхъ поръ, пока заключенный воздухъ займетъ только половину прежняго объема, т. е. 5 **цт.** длины нашей трубки (фиг. 65*b*). Оказывается, что въ этомъ случаѣ разность вы-



Фиг. 65.

сотъ ртути въ открытомъ и закрытомъ колѣнѣ какъ разъ равна барометрической высотѣ въ данный моментъ (т. е. въ нашемъ случаѣ равна 76 цт). Итакъ, сжатый до половины первоначальнаго объема воздухъ подвергается давленію какъ разъ въ 2 раза большему, чѣмъ раньше, ибо давленіе слагается изъ давленія воздуха въ 1 атм., которое и теперь дѣйствуетъ на ртуть черезъ открытый конецъ трубки и передается заключенному воздуху, и кромѣ того изъ давленія столба ртути длиною въ 76 цт., т. е. равнаго давленію еще „одной атмосферы“. Слѣдовательно, на сжатый воздухъ дѣйствуетъ давленіе въ „2 атмосферы“. Если бы мы подняли трубку достаточно высоко для того, чтобы газъ былъ сжатъ до $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_5$ и т. д. первоначальнаго объема, то мы нашли бы, что давленіе каждый разъ увеличивается на одну атмосферу, т. е. оно было бы равно послѣдовательно 3, 4, 5 и т. д. атмосферамъ.

Будемъ теперь опускать открытую трубку до тѣхъ поръ, пока газъ займетъ объемъ въ два раза большій начальнаго (20 цт). Окажется, что ртуть въ открытомъ колѣнѣ стоитъ ниже, чѣмъ въ закрытомъ на длину, равную половинѣ высоты барометрическаго столба (38 цт). Расширившійся газъ, занимающій объемъ вдвое большій первоначальнаго, находится подъ давленіемъ равнымъ какъ разъ половинѣ прежняго давленія, потому что на ртуть въ открытомъ колѣнѣ дѣйствуетъ давленіе въ одну атмосферу, а въ закрытомъ колѣнѣ его отчасти уравновѣшиваетъ давленіе столба ртути высотой въ 38 цт, т. е. равное половинѣ атмосферы, а потому расширившійся воздухъ находится только подъ давленіемъ, равнымъ разности этихъ давленій, т. е. половины атмосферы. Если бы мы могли опускать открытую трубку все ниже такъ, чтобы заключенный воздухъ расширился въ 3, 4, 5... разъ, то давленіе, подъ которымъ онъ находится, оказалось бы равнымъ $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_5$... атмосферы.

Тотъ-же результатъ мы бы получили, если бы барометрическое давленіе было равно не 76 цт (а напр. 72 цт). И въ этомъ случаѣ газъ, въ зависимости отъ занимаемаго объема, окажется подъ давленіемъ въ 1, 2, 3... атмосферы, а затѣмъ въ $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$... давленія ртутнаго столба, высота котораго равна барометрической.

Фиг. 66.

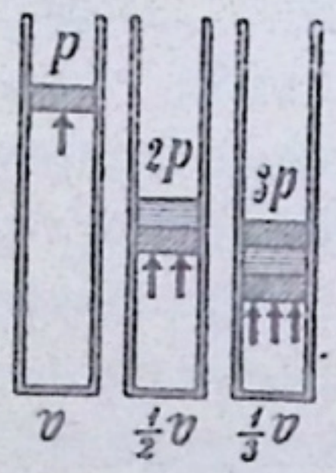
Такъ какъ упругость заключеннаго газа въ каждомъ изъ описанныхъ случаевъ какъ разъ равна давленію, дѣйствующему на газъ (фиг. 66), то на основаніи приведенныхъ

опытовъ можемъ вывести слѣдующій законъ (онъ былъ открытъ во 2-ой половинѣ 17-го столѣтія Бойлемъ и Маріоттомъ):

Упругость газа обратно пропорціональна занимаемому имъ объему. Т. е., если объемъ газа становится въ 2, 3, 4... раза больше начальнаго, то упругость его падаетъ до $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ и т. д. начальной величины; если объемъ уменьшается до $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$... начальнаго объема, то упругость становится въ 2, 3, 4... раза больше начальной. (**Законъ Бойля и Маріотта**).

Уменьшая объемъ, мы сближаемъ частицы газа; газъ становится плотнѣе; при этомъ плотность его обратно пропорціональна занимаемому имъ объему. Поэтому можно высказать законъ Бойля и Маріотта также въ слѣдущей формѣ: упругость газа пропорціональна его плотности.

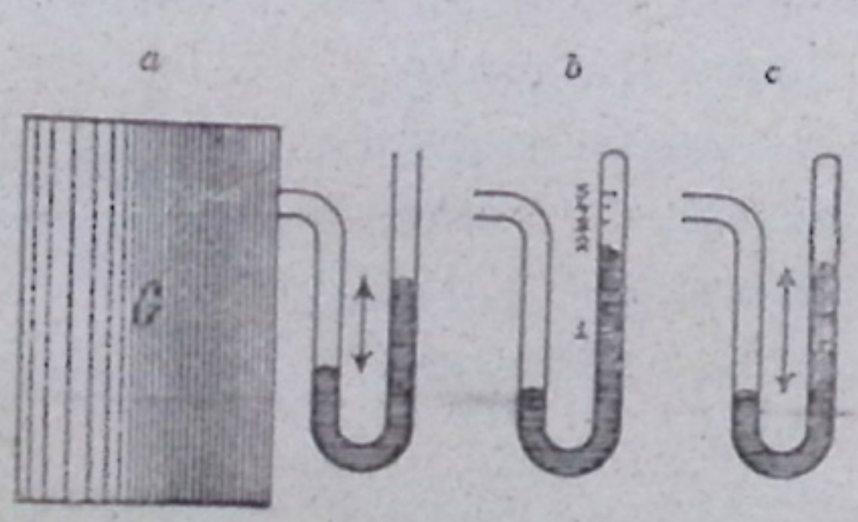
На фиг. 67 наглядно представленъ законъ Бойля и Маріотта. Объясните рисунокъ. Указанный въ § 35 удѣльный вѣсъ воздуха 0,0013 вѣсовыхъ единицъ (точнѣе 0,001293 вѣсовыхъ единицъ) опредѣленъ при условіи, что воздухъ находится подъ нормальнымъ давленіемъ (76 цт). Какъ измѣняется удѣльный вѣсъ воздуха, если давленіе уменьшается (увеличивается)?



Фиг. 67.

Задачи: 1. На какой глубинѣ заключенный въ водолазномъ колоколѣ воздухъ сжатъ до половины начальнаго объема? 2. Водолазный колоколъ опущенъ на глубину въ 51,7 м ниже уровня моря. Какую часть начальнаго объема займетъ заключенный въ немъ воздухъ? Если будемъ нагнетать въ колоколъ воздухъ такъ, чтобы онъ весь наполнилъ его, то подъ какимъ давленіемъ (въ **атм.**) будетъ находиться этотъ воздухъ? 3. Чему равенъ удѣльный вѣсъ воздуха при барометрической высотѣ 72 цт. 4. Сколько вѣситъ 10 л воздуха при давленіяхъ въ 700 **мм**, 730 **мм**, 760 **мм**, 790 **мм**? 5. Сколько вѣситъ 1 л воздуха при давленіи въ 10, 100, 1000 атмосферъ?

41. **Манометръ.**—Къ сосуду, заключающему воздухъ или иной газъ (фиг. 68*a*), придѣлана *U*-образная трубка, въ которую налита ртуть. Если упругость заключеннаго въ сосудѣ газа равна атмосферному давленію, то ртуть стоитъ въ обоихъ колѣнахъ на одинаковой высотѣ (§ 30). Если же упругость внутри больше, то ртуть будетъ стоять выше въ открытомъ колѣнѣ. Такъ, если атмосферное давленіе равно 72 **цм**, а ртуть въ открытомъ колѣнѣ стоитъ на 18 **цм**. выше, чѣмъ



Фиг. 68.

въ другомъ, то упругость заключеннаго газа равна давленію 72 цм. + 18 цм. = 90 цм. ртутнаго столба. Такой приборъ для измѣренія упругости газа называется **манометромъ**.

Если бы ртуть стояла ниже въ открытомъ колѣнѣ, то что-бы это значило? Что будетъ, если нальемъ въ манометръ вмѣсто ртути воды? Въ какихъ случаяхъ выгодно наполнять манометръ водой?

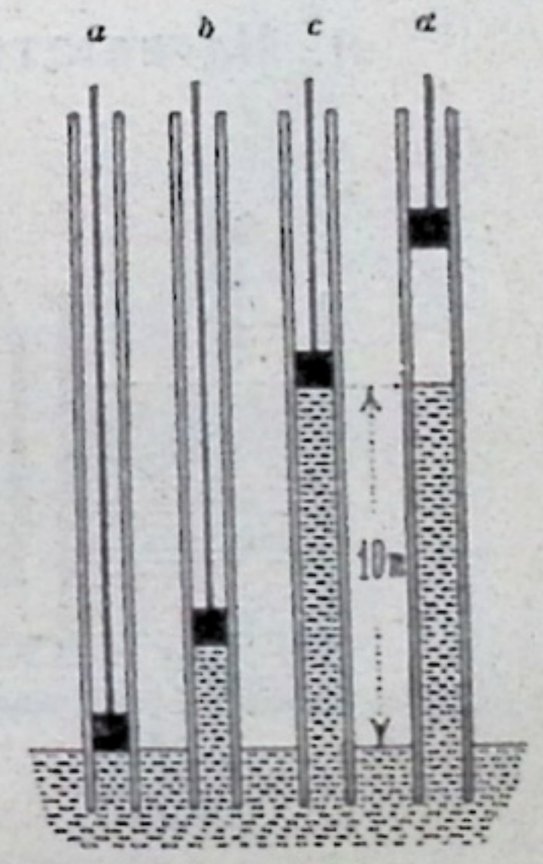
Если измѣряемая упругость газа очень велика (напр., равна нѣсколькимъ атмосферамъ), то примѣнять «открытый» манометръ представляется неудобнымъ. (Почему?). Обыкновенно въ такихъ случаяхъ трубку манометра разобщаютъ съ наружнымъ воздухомъ (напр. запаиваютъ ее). Такой «закрытый» манометръ изображенъ на фиг. 68*b*. Объясните устройство его шкалы.

Если упругость газа очень мала (напр. только $^1/_{100}$ атмосферы), то примѣняютъ закрытый манометръ, у котораго въ запаянномъ колѣнѣ надъ ртутью нѣтъ воздуха (фиг. 68*c*). Чѣмъ измѣряется въ этомъ случаѣ упругость газа? Такъ какъ такіе приборы служатъ для измѣренія давленія очень разрѣженныхъ газовъ, то ихъ называютъ вакуумметрами.

Какъ можно примѣнить приборъ, изображенный на фиг. 59 стр. 42 въ качествѣ открытаго манометра, и какъ въ качествѣ закрытаго? Въ торричеліевомъ опытѣ мы тотъ-же приборъ примѣняли въ качествѣ 3-го вида манометра. Какимъ образомъ? Нельзя-ли и приборъ, изображенный на фиг. 65 стр. 46 разсматривать какъ манометръ.

Бываютъ также и металлическіе манометры, похожіе на барометры-анероиды. Они примѣняются при паровыхъ котлахъ. Для чего они служатъ?

42. **Насосы.** *a*). Въ открытую съ обѣихъ сторонъ стеклянную трубку (фиг. 69) вдвинемъ до низу плотно прилегающій къ стѣнкамъ поршень; трубку опустимъ въ воду (фиг. 69*a*) и станемъ поднимать поршень. Вода слѣдуетъ за поршнемъ (фиг. 69*b*) и поднимается такимъ образомъ въ трубкѣ выше своего уровня снаружи. (Наполненіе шприцовки).

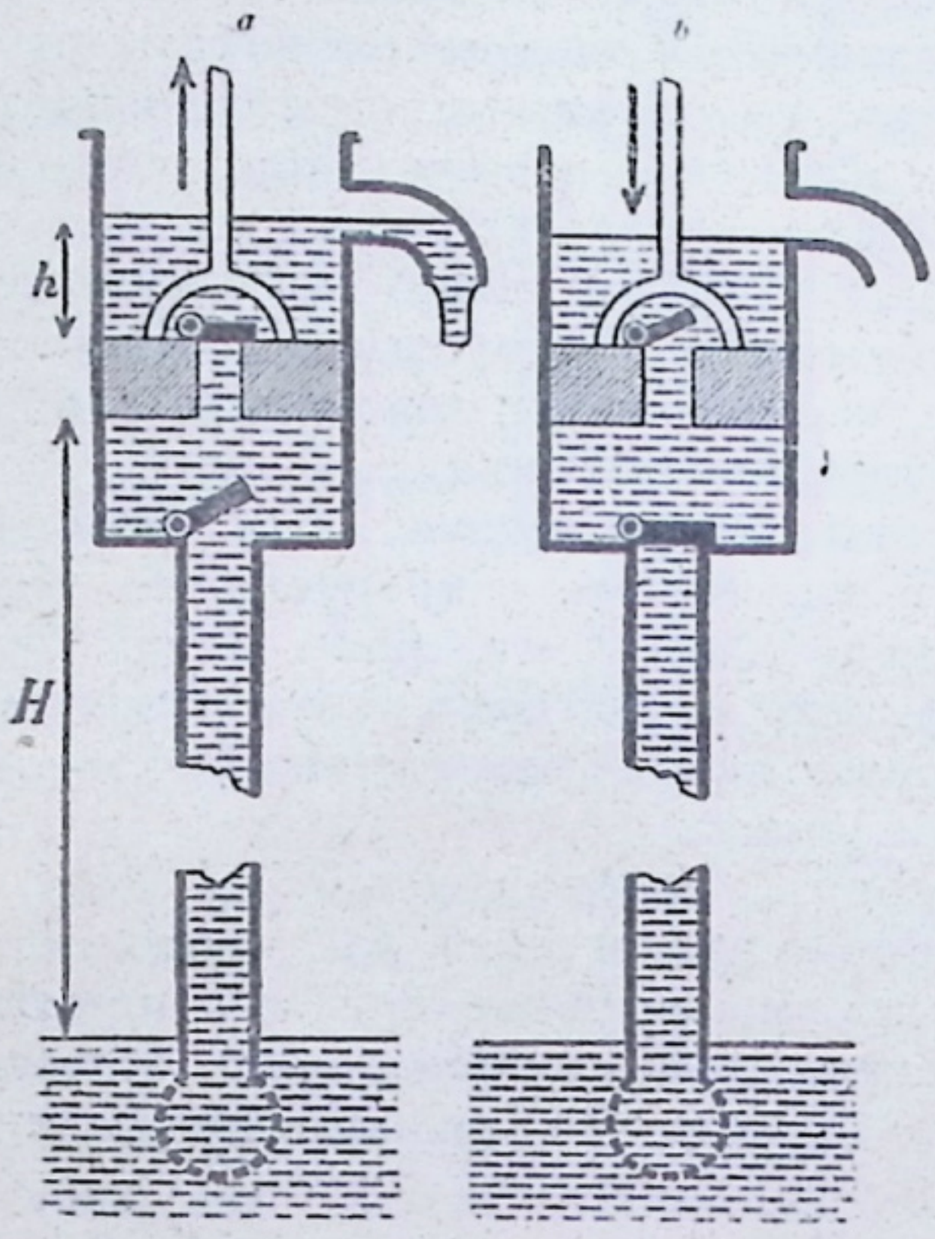


Фиг. 69.

Объясните это явленіе. Можетъ ли вода подняться въ трубкѣ до любой высоты? Что произойдетъ, если мы поднимемъ поршень болѣе, чѣмъ на 10 м. (фиг. 69*c*, *d*) Такъ какъ на практикѣ поршень никогда не прилегаетъ достаточно плотно къ стѣнкамъ, то воду можно поднимать описаннымъ способомъ только до высоты въ 6—8 метровъ.

б). Если не дадимъ водѣ опускаться при обратномъ движеніи поршня, а заставимъ ее пройти черезъ поршень и выливаться гдѣ ниб. сбоку, то получимъ изъ описаннаго прибора **всасываю-**

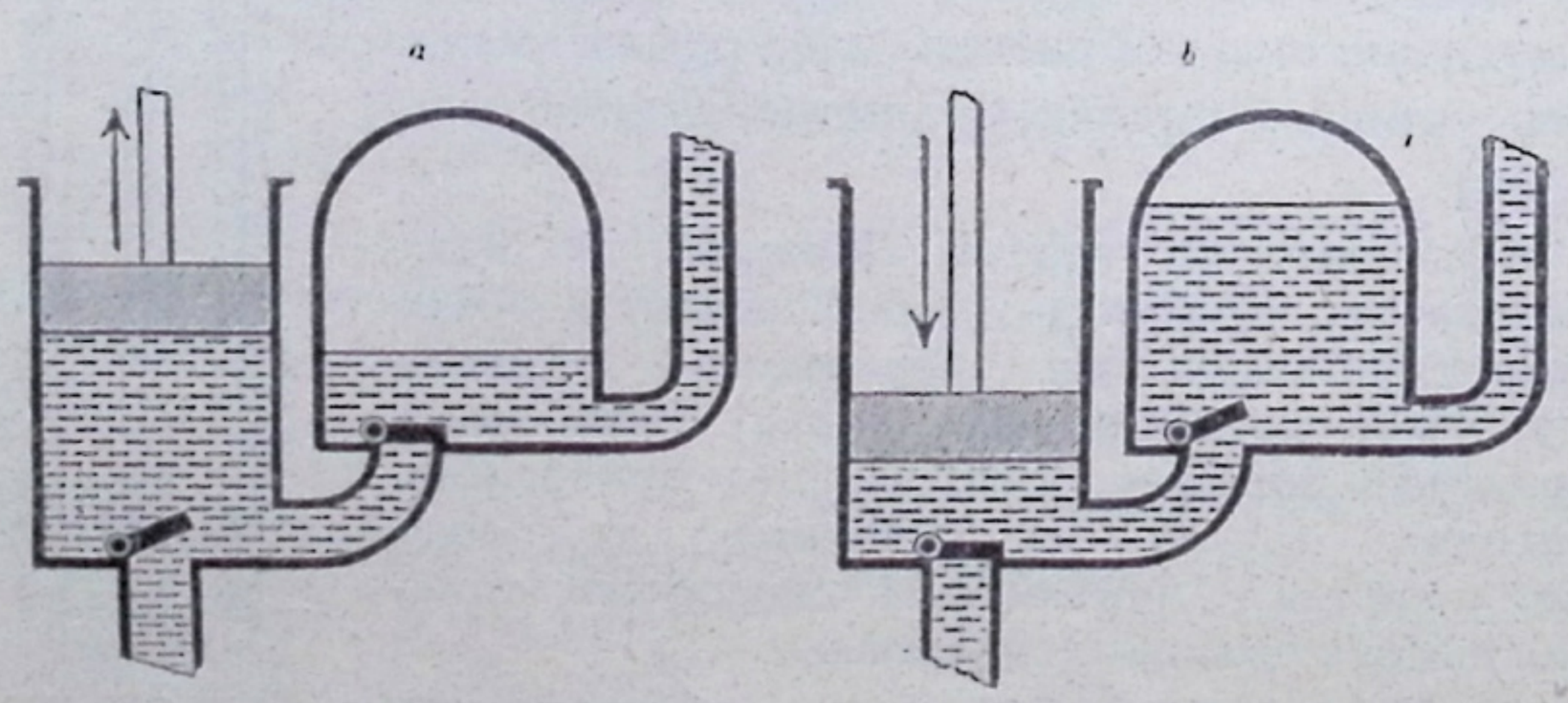
щій насосъ. Съ этой цѣлью устраиваются два клапана. Одинъ изъ нихъ находится въ днѣ поршневого цилиндра, гдѣ къ нему присоединена всасывающая трубка (длиною не болѣе 8 метровъ); онъ открывается и пропускаетъ воду только вверхъ. Другой клапанъ закрываетъ отверстіе въ самомъ поршнѣ и открывается тоже только вверхъ.



Фиг. 70.

Объясните, какъ работаетъ такой насосъ, на основаніи фиг. 70*a*, на которой указано положеніе клапановъ при движеніи поршня вверхъ, и фиг. 70*b*, которая соотвѣтствуетъ обратному движенію поршня. Течетъ-ли вода изъ отводной трубки равномѣрно или съ перерывами? Могутъ ли такіе насосы (водокачки) поднимать воду съ глубины колодца большей чѣмъ 8 — 10 м? При помощи какого приспособленія обыкновенно приводятъ въ движеніе поршень? Можно ли всасывающимъ насосомъ поднимать воду вертикально вверхъ по удлиненной отводной трубкѣ въ верхніе этажи зданія? Какъ пришлось бы для этой цѣли измѣнить самый насосъ?

в). **Нагнетательный насосъ** (фиг. 71) отличается отъ всасывающаго насоса тѣмъ, что въ поршнѣ нѣтъ клапана, а внизу поршневого цилиндра придѣлана боковая трубка, въ которой на-



Фиг. 71.

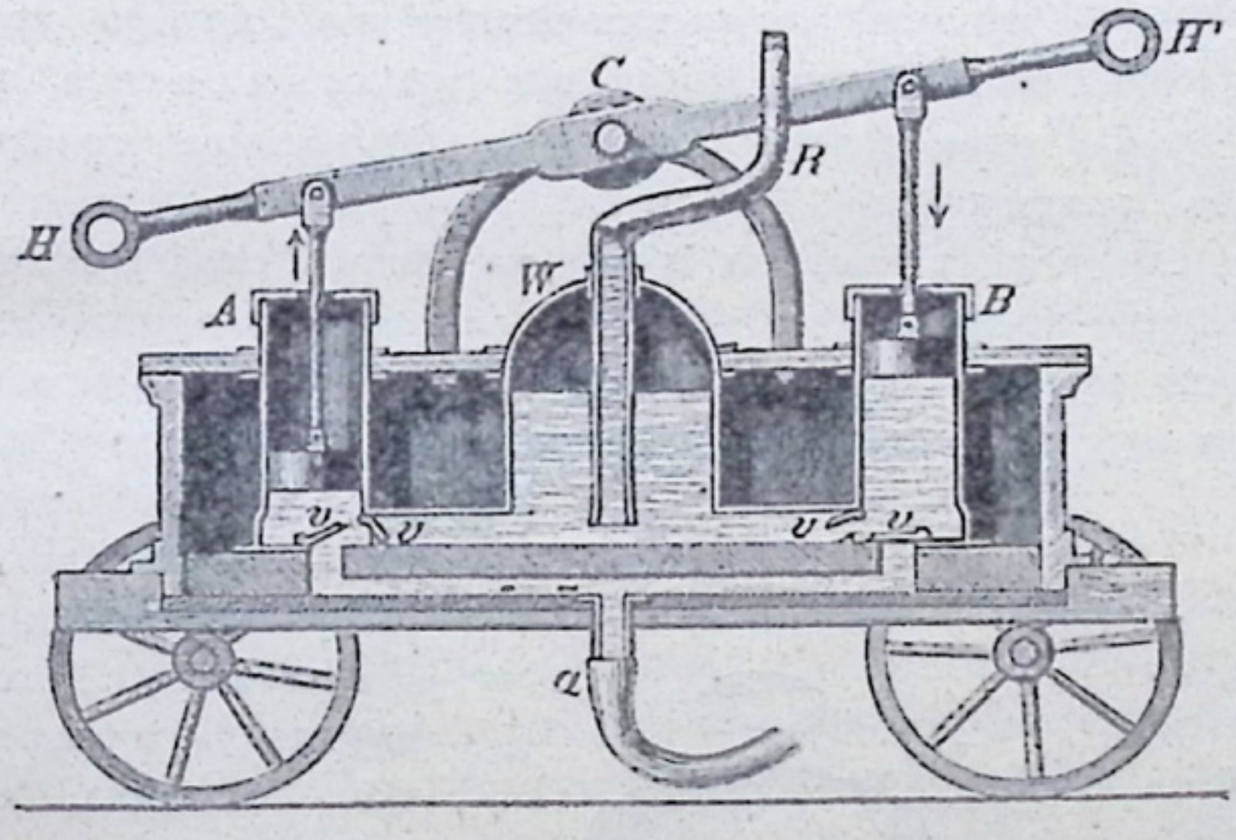
ходится открывающійся только наружу клапанъ. Эта подъемная трубка можетъ быть снаружи продолжена сколько угодно вверхъ.

При помощи фиг. 71*a* и *b* объясните, какъ работаетъ нагнетательный насосъ. Вода и въ этомъ случаѣ течетъ во всасывающей и въ отводной трубкѣ толчками. Болѣе равномѣрнаго движенія воды достигаютъ установкой на отводной трубкѣ колпака, наполненнаго воздухомъ, который дѣйствуетъ, какъ своего рода геронновъ шаръ (§ 39). Этимъ облегчается работа насоса, и его части меньше изнашиваются.

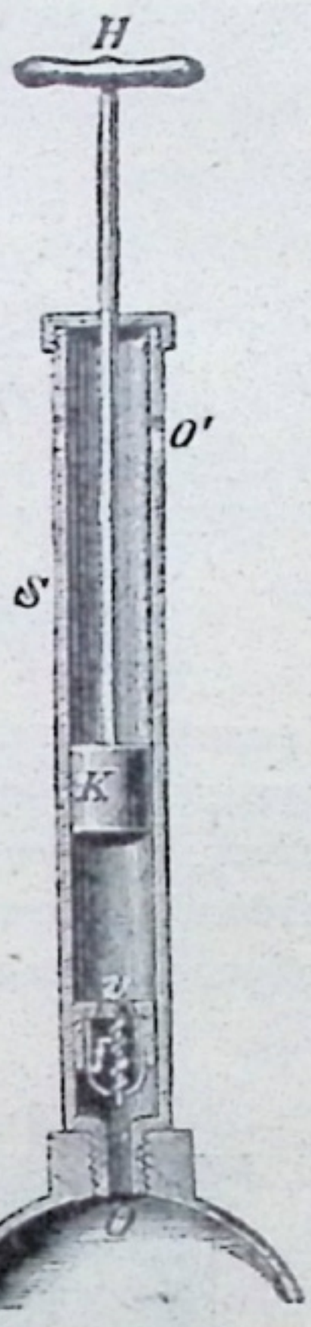
На основаніи фиг. 71*a* и *b* объясните дѣйствіе этого колпака. Сравните съ опытомъ, описаннымъ въ концѣ § 39.

г). **Пожарный насосъ** (фиг. 72) состоитъ изъ двухъ нагнетательныхъ насосовъ *A* и *B* и воздушнаго колпака *W*. Оба насоса поперемѣнно всасываютъ воду черезъ общую всасывающую трубку *a* изъ колодца или бочки и нагнетаютъ ее въ колпакъ *W*.

43. **Воздушные насосы.** Воздушными насосами называютъ приборы, при помощи которыхъ можно сгущать или разрѣжать газы (воздухъ) въ данномъ замкнутомъ пространствѣ. Поэтому различаютъ воздушные насосы нагнетательный и разрѣжающій.



Фиг. 72.



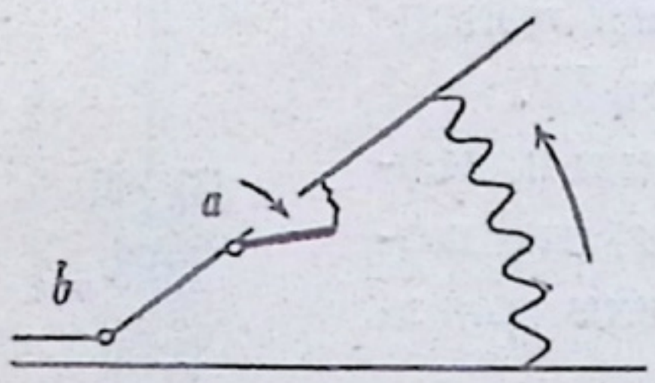
Фиг. 73.

a). **Нагнетательный насосъ** (фиг. 73) состоитъ изъ ровной цилиндрической трубки *S*, въ которой движется плотно пригнанный поршень *K*. Въ нижней части цилиндра устроенъ клапанъ *v*, открывающійся наружу и только подъ давленіемъ. Когда мы

при помощи рукоятки *H* опускаемъ поршень, то воздухъ подъ нимъ сжимается и вгоняется черезъ клапанъ *c* въ привинченный у *O* прочный сосудъ. Когда поршень поднимется выше отверстія *O'*, наружный воздухъ снова проникнетъ въ цилиндръ. Клапанъ *c* при этомъ закрытъ благодаря особой пружинѣ *f* и отчасти давленію заключеннаго въ сосудѣ воздуха.

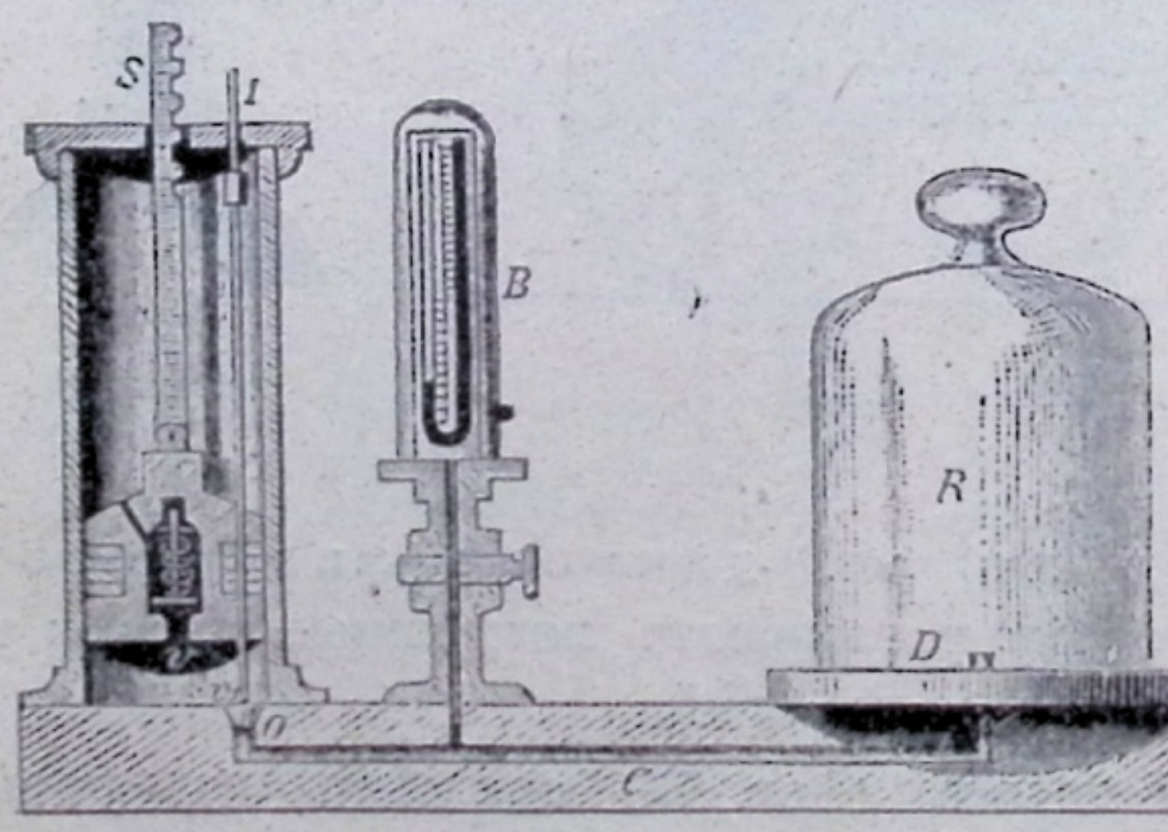
Нагнетательный насосъ употребляется для наполненія воздухомъ водолазнаго колокола, затѣмъ для заряжанія духовыхъ ружей и дѣйствующихъ сжатымъ воздухомъ минныхъ аппаратовъ, для насыщенія воды углекислотой (зельтерская вода), для надуванія шинъ велосипедовъ, для воздушной (пневматической) почты и т. д. Сгущеннымъ воздухомъ приводятся иногда въ движеніе машины (при работахъ въ туннеляхъ) и благодаря ему возможны работы подъ водой (кессонныя постройки), которыя иначе были бы невыполнимы.

Воздуходувный мѣхъ (фиг. 74) примѣняется для полученія потока сгущеннаго воздуха. Онъ представляетъ собой упрощенный нагнетательный насосъ и состоитъ изъ двухъ подвижныхъ досокъ, по большей части треугольной формы, соединенныхъ между собой кожаной гармошкой; въ узкомъ концѣ мѣха находится трубка *b* (сопло). Въ одной изъ досокъ сдѣлано отверстіе *a*, снабженное открывающимся во внутрь кожанымъ клапаномъ. Когда мы раздвигаемъ подвижныя доски мѣха, то внутреннее пространство увеличивается, упругость заключеннаго въ немъ воздуха уменьшается и наружный воздухъ проникаетъ черезъ клапанъ *a* внутрь тѣла. Когда сжимаемъ мѣхъ, упругость внутренняго воздуха увеличивается, клапанъ *a* прижимается къ стѣнкѣ, и сжатый воздухъ вытѣсняется черезъ трубку *b*. Мы получаемъ такимъ образомъ потокъ воздуха, который продолжается, однако, до тѣхъ поръ, пока не будетъ вытѣсненъ весь воздухъ (сравните съ этимъ вдыханіе и выдыханіе легкихъ!). Чтобы получить непрерывный токъ воздуха, соединяютъ вмѣстѣ два такихъ (простыхъ) мѣха.



Фиг. 74.

б). **Разрѣжающій воздушный насосъ** или, какъ его обыкновенно называютъ, просто — воздушный насосъ (фиг. 75) состоитъ изъ цилиндра *S* съ поршнемъ *K*, особаго стержня съ клапаномъ 1 и колокола *R*.



Фиг. 75.

Цилиндръ дѣлается обыкновенно изъ толстаго стекла; къ нему точно пригнанъ поршень K, со сквознымъ каналомъ, закрывающимся клапаномъ v, который можетъ открываться только вверхъ. Поршень можетъ двигаться вверхъ и внизъ. При своемъ движеніи поршень увлекаетъ съ собой металлическій стерженекъ 1 толщиной до 2 мм., проходящій черезъ поршень безъ зазора; стерженекъ заканчивается коническимъ металлическимъ клапаномъ v_1, который открываетъ или закрываетъ отверстіе O, смотря по тому, движется ли поршень вверхъ или внизъ Особое утолщеніе на стерженькѣ не даетъ ему подняться слишкомъ высоко. Каналомъ C цилиндръ соединенъ съ колоколомъ R.

Обыкновенно употребляютъ стеклянный колоколъ; нижній край его отшлифованъ такъ, что онъ плотно прилегаетъ къ плоской, чаще всего, стеклянной ровно отшлифованной тарелкѣ D. Для еще болѣе плотнаго соприкосновенія края колокола съ тарелкой его смазываютъ саломъ (вазелиномъ). Для опредѣленія степени разрѣженія воздуха въ колоколѣ R между послѣднимъ и цилиндромъ помѣщается манометръ (принадлежащій къ третьему типу, изъ описанныхъ въ § 41), заключенный въ небольшой колоколъ B, который мы можемъ соединить съ каналомъ C, открывая соотвѣтствующій краңъ (см. фиг. 75). Поршень имѣетъ наверху зубчатку, которая движется вверхъ и внизъ при помощи зубчатаго колеса, вращаемаго особой рукояткой, то въ ту, то въ другую сторону. Чтобы ускорить разрѣженіе, часто устраиваютъ два цилиндра (сравните устройство воздушнаго насоса и всасывающаго насоса).

Когда мы поднимаемъ поршень со дна цилиндра вверхъ, то воздухъ проникаетъ черезъ открывшееся отверстіе O изъ подъ колокола R въ цилиндръ до тѣхъ поръ, пока упругость его тутъ и тамъ не станетъ одинаковой. Когда же будемъ двигать поршень внизъ, то клапанъ v_1 закроетъ отверстіе O. Воздухъ не можетъ изъ цилиндра вернуться въ колоколъ; при движеніи поршня внизъ воздухъ сдавливается, приподнимаетъ клапанъ v и выходитъ наружу. Когда снова начнемъ поднимать поршень, клапанъ v закроется, наружный воздухъ не можетъ проникнуть внутрь. Описанное явленіе повторяется при каждомъ движеніи поршня вверхъ и внизъ и благодаря этому воздухъ подъ колоколомъ все сильнѣе и сильнѣе разрѣжается. Если ртутный столбъ манометра имѣетъ длину 30 цт, то ртуть въ немъ начнетъ падать, когда разрѣженіе будетъ настолько велико, что давленіе оставшагося подъ колоколомъ воздуха на ртуть не въ состояніи удержать ее на этой высотѣ.

b) **Опыты съ воздушнымъ насосомъ** подраздѣляются на

a) опыты, доказывающіе вѣсъ воздуха (§ 35);

b) опыты, доказывающіе давленіе воздуха, дѣйствующаго съ одной только стороны:

1) Резиновая трубка, изъ которой выкачанъ воздухъ, сжимается въ ленту.

2) Затянемъ сверху цилиндрическій колоколъ пузыремъ; поставимъ на тарелку *D*, когда станемъ выкачивать изъ подъ него воздухъ, пузырь вдавливается внутрь и съ сильнымъ трескомъ прорывается. (При этомъ опытѣ нужно закрыть кранъ, устанавливающій сообщеніе съ манометромъ!).

Фиг. 76.

3) Ртуть продавливается сквозь поры куска твердаго дерева (ртутный дождь).

4) Колоколъ R крѣпко пристаетъ къ тарелкѣ.

5) Чтобы разъединить магдебургскія полушарія (фиг. 76) необходимо затратить большія усилія.

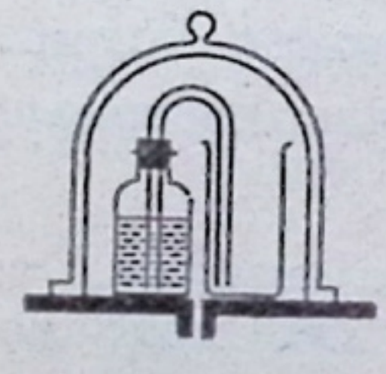
6) Ртуть можно всосать на высоту нѣсколько больше 70 цт.

c) опыты, показывающіе, что газъ, заключенный въ замкнутое пространство, стремится расширяться:

1) Плотно завязанный резиновый шаръ, содержащій немного воздуха, надувается, если помѣстимъ его подъ колоколомъ и станемъ выкачивать воздухъ.

2) Мыльная пѣна (пиво) пѣнится, будучи помѣщена подъ колоколомъ.

3) Изъ свѣжей воды выдѣляется заключенный въ ней (п о г л о щ е н н ы й) воздухъ.



Фиг. 77.

4) Изъ Геронова шара подъ колоколомъ начинаетъ бить струя; для этого ему придаютъ обыкновенно форму, изображенную на фиг. 77.

(Что произойдетъ во всѣхъ этихъ случаяхъ, если снова впустить воздухъ подъ колоколъ?).

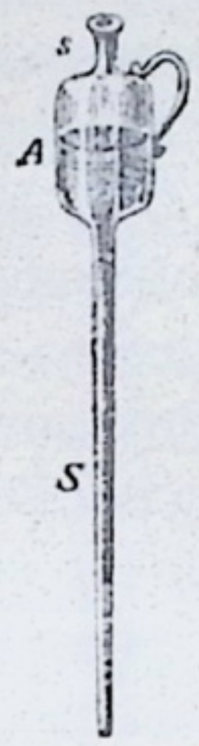
В о з д у ш н ы й н а с о с ъ находитъ обширное примѣненіе въ научныхъ изслѣдованіяхъ и въ техникѣ.

44. **Приборы, основанные на давленіи воздуха.** **Ливеръ** — это стеклянная или металлическая трубка длиной приблизительно въ 1 м; въ верхнемъ концѣ ея находится расширеніе *A* (фиг. 78).

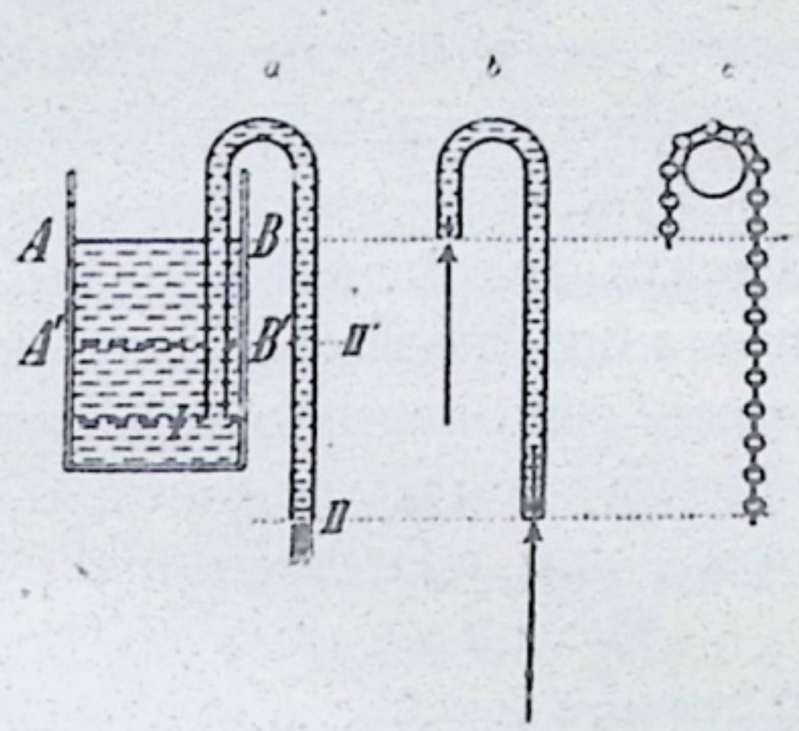
Если опустимъ нижній конецъ ливера въ жидкость, а черезъ верхній конецъ будемъ высасывать воздухъ, т. е. р а з р ѣ ж а т ь его, то жидкость поднимется по трубкѣ *S* и можетъ наполнить весь ливеръ. Закроемъ быстро большимъ пальцемъ верхнее отверстіе трубки; тогда можно вмѣстѣ съ ливеромъ поднять заключенную въ немъ жидкость и перенести куда угодно въ любое мѣсто.

Сифонъ (фиг. 79*a*) это изогнутая трубка (стеклянная или каучуковая), открытая съ обоихъ концовъ. Опустимъ одно колѣно трубки въ жидкость, которую желаютъ перелить въ другой

сосудъ, а черезъ другое колѣно будемъ высасывать воздухъ изъ трубки, пока жидкость не наполнитъ всю трубку. Если предоставимъ теперь приборъ самому себѣ, то замѣтимъ, что жидкость будетъ переливаться изъ верхняго сосуда въ нижній, пока оба отверстія сифона находятся ниже уровня жидкости въ верхнемъ сосудѣ.



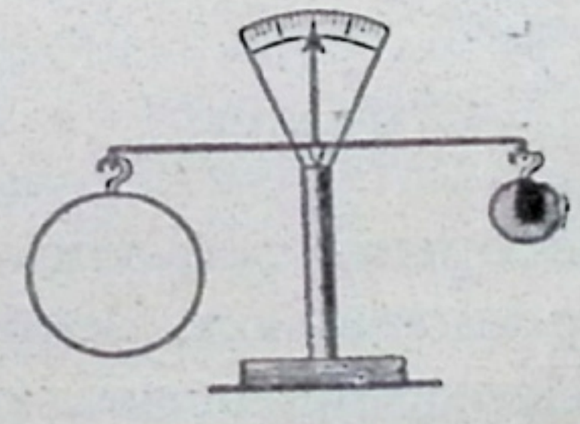
Фиг. 78.



Фиг. 79.

Чтобы объяснить явленіе переливанія жидкости, замѣтимъ, что лежащія ниже уровня AB частицы жидкости внѣ и внутри трубки находятся въ равновѣсіи. На остальную часть столба жидкости въ трубкѣ (она изображена отдѣльно на (фиг. 79*b*) дѣйствуетъ съ обоихъ концовъ съ одинаковой силой воздушное давленіе; но справа въ трубкѣ находится болѣе длинный столбъ жидкости, который уравновѣшиваетъ собой большую часть воздушнаго давленія, чѣмъ столбъ жидкости въ лѣвомъ колѣнѣ сифона. Поэтому въ верхней части трубки на жидкость дѣйствуетъ избытокъ давленія слѣва направо и заставляетъ ее двигаться вправо черезъ длинное колѣно (явленіе похоже на то, какъ скатывается направо внизъ цѣпочка, изображенная на фиг. 79*c*). Вытекающая вода тотчасъ же замѣщается въ трубкѣ (фиг. 79*a*) водой изъ сосуда подъ дѣйствіемъ давленія наружнаго воздуха на AB (На какой наибольшей высотѣ надъ AB можетъ лежать перегибъ трубки?). Вода перестаетъ вытекать, когда уровень AB опустится до I, или же когда второй конецъ трубки не лежитъ уже ниже уровня AB. Такъ, если бы наружное колѣно сифона кончалось у II', а уровень воды въ сосудѣ упалъ бы до $A'B'$, то вода перестала бы вытекать (опыты).

45. **Примѣненіе закона Архимеда къ газамъ.** Къ одному плечу коромысла маленькихъ чувствительныхъ вѣсовъ (фиг. 80) подвѣсимъ полый стеклянный шаръ, заключающій внутри воздухъ, а къ другому плечу — латунный шарикъ одинаковаго вѣса со стекляннымъ. Помѣстивъ уравновѣшенные вѣсы подъ колоколъ воздушнаго насоса и выкачавъ воздухъ, замѣтимъ, что равновѣсіе нарушится; опустится то плечо, къ которому подвѣшенъ стеклянный шаръ.



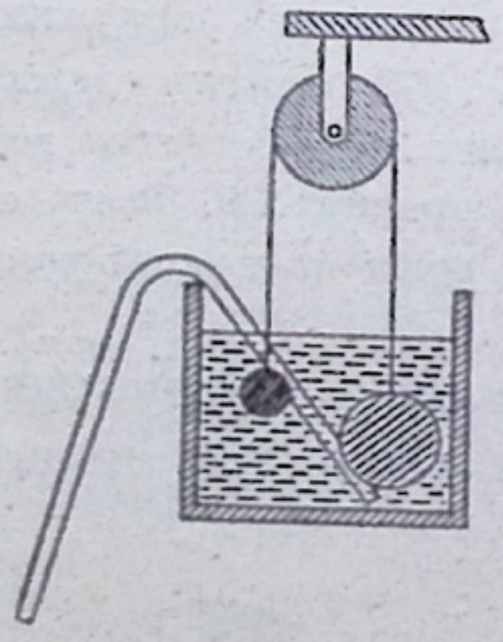
Фиг. 80.

Чтобы объяснить опытъ, вспомнимъ, что латунь плотнѣе стекла, а въ нашемъ опытѣ къ тому же стеклянный шаръ — полый. Поэтому маленькій металлическій шарикъ уравновѣшиваетъ значительно больший, полый стеклянный шаръ. Второй вытѣсняетъ своимъ объемомъ во

много разъ б о л ь ш е в о з д у х а, чѣмъ первый. Мы знаемъ, что и воздухъ имѣетъ вѣсъ, и вытѣсненный б о л ь ш и м ъ шаромъ объемъ воздуха вѣситъ больше, чѣмъ вытѣсненный м а л е н ь к и м ъ. Когда мы взвѣшиваемъ въ воздухѣ, то, подобно тому, какъ, если бы мы взвѣшивали въ водѣ, мы измѣряемъ н е в е с ь вѣсъ т ѣ л а, а нѣсколько меньшую величину: каждое тѣло т е р я е т ъ в ъ с в о е м ъ в ѣ с ѣ в ъ в о з д у х ѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненный имъ объемъ воздуха. Выкачивая воздухъ изъ подъ колокола, мы удаляемъ его и устраняемъ вмѣстѣ съ тѣмъ вызываемую его присутствіемъ потерю въ вѣсѣ. Равновѣсіе поэтому н а р у ш а е т с я: большій шаръ в ѣ с и т ъ въ безвоздушномъ или разрѣженномъ пространствѣ б о л ь ш е, чѣмъ другой.

В с я к о е т ѣ л о т е р я е т ъ в ъ в о з д у х ѣ или другомъ г а з ѣ в ъ с в о е м ъ в ѣ с ѣ столько, с к о л ь к о в ѣ с и т ъ в ы т ѣ с н е н н ы й и м ъ о б ъ е м ъ в о з д у х а (давленіе въ газахъ, направленное вертикально вверхъ). Т ѣ л а, б о л ѣ е л е г к і я, ч ѣ м ъ в о з д у х ъ, п о д ы м а ю т с я в ъ н е м ъ, б о л ѣ е т я ж е л ы я — о п у с к а ю т с я. (З а к о н ъ А р х и м е д а для газовъ).

Сравните описанный опытъ со слѣдующимъ: черезъ блокъ (фиг. 81) перекинута веревка, къ одному концу которой подвѣшенъ шаръ, сдѣланный изъ алюминія, а къ другому — свинцовый шарикъ; ихъ величины подобраны такъ, что они уравновѣшиваютъ другъ друга, если оба п о г р у ж е н ы в ъ с о с у д ъ с ъ в о д о й. (Какая сила дѣйствуетъ на каждый шаръ?). При помощи сифона выльемъ воду; алюминіевый шарикъ опустится. Почему?



Фиг. 81.

Мыльные пузыри и очень легкіе резиновые шары поднимаются вверхъ, если наполнить ихъ т е п л ы м ъ в о з д у х о м ъ или же в о д о р о д о м ъ, или с в ѣ т и л ь н ы м ъ г а з о м ъ. На этомъ основано поднятіе такъ называемыхъ **воздушныхъ шаровъ**, оболочку которыхъ обыкновенно дѣлаютъ изъ очень тонкихъ тканей, пропитанныхъ особымъ лакомъ, закрывающимъ поры матеріи. Шары, предназначающіеся для подъема б о л ь ш и х ъ г р у з о в ъ, изготовляются изъ возможно прочныхъ и все-же легкихъ тканей и окружаются прочной веревочной сѣткой; къ ней подвѣшивается воздухоплавательная лодка или корзина.

Изобрѣтателями воздушныхъ шаровъ являются братья М о н г о л ь ф ь е во Франціи; они пустили 5 іюня 1783 года первый воздушный шаръ, наполненный г о р я ч и м ъ в о з д у х о м ъ. Профессоръ Ш а р л ь въ Парижѣ первый примѣнилъ (27 августа 1783) для наполненія шаровъ в о д о р о д ъ, а англича-

нинъ Гринъ (1836) — свѣтильный газъ. Воздушный шаръ можетъ подниматься лишь до тѣхъ поръ, пока онъ не попадетъ въ слой воздуха такой плотности, что дѣйствующая на него вертикально снизу вверхъ сила, равная вѣсу вытѣсненнаго имъ воздуха, окажется равной общему вѣсу шара. Если воздухоплаватель хочетъ подняться выше, онъ можетъ достигнуть этого, выбрасывая балластъ (песокъ); если же онъ желаетъ опуститься, то долженъ выпустить изъ шара часть газа; для этого онъ можетъ при помощи веревки открыть устроенный вверху шара клапанъ. Высоту, на которой находится шаръ, воздухоплаватель измѣряетъ при помощи барометра. Какимъ образомъ? Наибольшей высоты (10300 м) достигъ Берсонъ въ 1901 году. Шары безъ людей, снабженные самозаписывающими метеорологическими приборами, поднимались до высоты въ 18000 м.—Почему воздухоплавателямъ всегда трудно опуститься на землю? Что произойдетъ, если одинъ изъ двухъ воздухоплавателей выпрыгнетъ изъ корзины, когда шаръ опустится къ землѣ? Въ послѣднее время воздушные шары примѣняются въ военномъ дѣлѣ для наблюденія за непріятелемъ съ большой высоты. Шаръ, наполненный водородомъ, обладаетъ большей подъемной силой, чѣмъ наполненный нагрѣтымъ воздухомъ или свѣтильнымъ газомъ. Въ настоящее время стали устраивать воздушные шары (дирижабли), которыми можно **управлять по желанію**, и въ этомъ направленіи уже достигнуты большіе успѣхи.

VI. Теплота.

46. **Тепловое ощущеніе. Тепловое состояніе. Степень нагрѣтости.** *а*) Дотрагиваясь рукой до какого-нибудь тѣла, мы кромѣ ощущенія свойствъ его поверхности (гладкая, шероховатая, влажная, сухая и т. д.), получаемъ еще особыя ощущенія, на основаніи которыхъ мы говоримъ о тѣлѣ: холодное, тепловатое, теплое, горячее. Это ощущеніе мы называемъ **тепловымъ ощущеніемъ**. Одно и то же тѣло можетъ вызвать у насъ въ разное время различныя тепловыя ощущенія. Такъ, нетопленная печь холодна; когда же разведемъ въ ней огонь, то вскорѣ она становится менѣе холодной, затѣмъ тепловатой, послѣ еще болѣе теплой и позже, можетъ быть, невыносимо горячей. Въ этомъ случаѣ **тепловое состояніе** нашего тѣла все время измѣнялось; оно переходило черезъ цѣлый рядъ, какъ бы степеней тепловыхъ состояній; каждую отдѣльную ступень называютъ степенью нагрѣтости. Такъ, если одно тѣло намъ кажется теплымъ, а другое только тепловатымъ, то говорятъ, что **степень нагрѣтости** перваго выше, чѣмъ втораго.

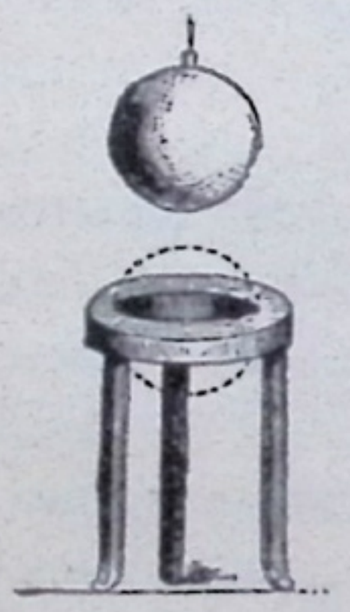
Невидимую причину теплового состоянія мы называемъ теплотой.

б) Хотя непосредственное ощущеніе и даетъ намъ возможность опредѣлять степень нагрѣтости, однако оно

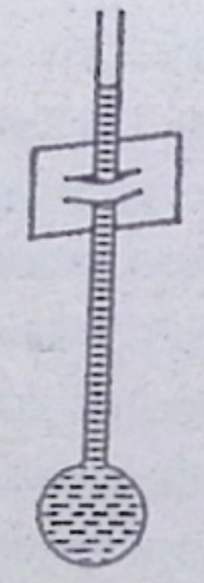
является недостаточно надежнымъ показателемъ. Если мы, напр., погрузимъ правую руку въ сосудъ съ холодной водой и въ то-же время лѣвую руку въ сосудъ съ теплой водой, а затѣмъ погрузимъ обѣ руки въ сосудъ съ тепловатой водой, то для правой руки она будетъ „теплой“, а для лѣвой „холодной“. Итакъ, наше тепловое ощущеніе зависитъ не только отъ теплового состоянія предмета, но и отъ состоянія нашего органа воспріятія; послѣдній же зависитъ отъ состоянія здоровья, отъ того, движемся ли мы, или находимся въ покоѣ, отъ привычки и многихъ другихъ обстоятельствъ.

Зимою на открытомъ воздухѣ кажется теплѣе человѣку работающему, чѣмъ человѣку, находящемуся въ покоѣ. Зимою намъ кажется въ погребѣ тепло, а лѣтомъ холодно. Если войдемъ съ мороза въ умѣренно-теплую комнату, то намъ покажется въ ней очень тепло, между тѣмъ сидящіе въ ней долгое время жалуются на холодъ. Какъ-бы отозвались о нашемъ климатѣ жители далекаго сѣвера и жители тропическихъ странъ?

Такъ какъ ощущеніе не даетъ намъ, ни достаточно надежныхъ, ни достаточно точныхъ свѣдѣній о степени теплового состоянія даннаго тѣла, то мы примѣняемъ особые приборы, при помощи которыхъ мы можемъ независимо отъ непосредственнаго теплового ощущенія судить о тепловомъ состояніи тѣлъ. Эти приборы называютъ **термометрами**. Они основаны на явленіяхъ, которыя мы сейчасъ разсмотримъ.



Фиг. 82.



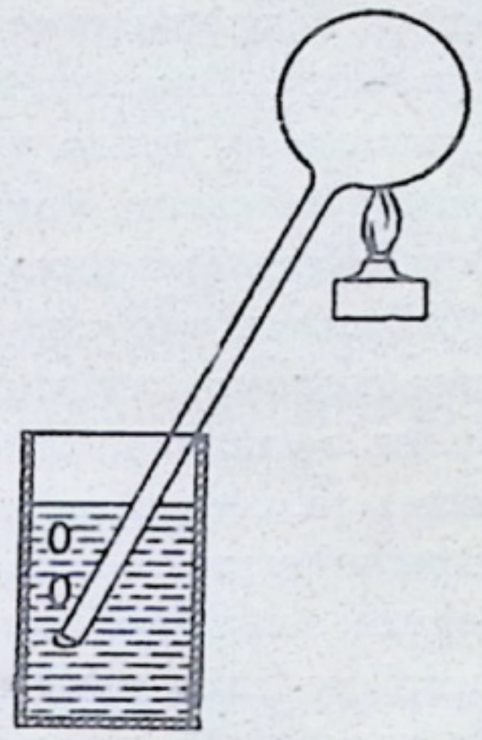
Фиг. 83.

47. **Расширеніе тѣлъ при нагрѣваніи.** Беремъ металлическій шаръ такой величины, что онъ едва проходитъ черезъ металлическое кольцо (фиг. 82). Если достаточно нагрѣемъ шарикъ и положимъ его на кольцо, то онъ не пройдетъ черезъ отверстіе, пока не остынетъ. Опытъ удастся и въ томъ случаѣ, если шарикъ будетъ изъ другого металла или любого твердаго тѣла.

Къ стеклянной трубкѣ діаметромъ въ 3 **мм** припаянъ (или выдутъ) внизу полый шарикъ діаметромъ въ нѣсколько центиметровъ (фиг. 83). Весь сосудъ наполненъ подкрашеннымъ керосиномъ. Кусочекъ картона, надѣтый на трубку, служитъ указателемъ и можетъ передвигаться вверхъ и внизъ вдоль трубки. Установимъ указатель такъ, чтобы онъ отмѣчалъ уровень жидкости въ трубкѣ. Если затѣмъ погрузимъ шарикъ сосуда въ те-

плую воду, то жидкость поднимется въ трубкѣ на нѣсколько центиметровъ; наоборотъ, при погруженіи шарика въ холодную воду уровень жидкости въ трубкѣ падаетъ на нѣсколько центиметровъ. Такой же результатъ получимъ, если вмѣсто керосина возьмемъ спиртъ, воду или любую иную жидкость.

Возьмемъ стеклянную трубку съ шаромъ на концѣ (или такъ называемую реторту) и погрузимъ ее открытымъ концомъ въ сосудъ съ подкрашенной водой (фиг. 84). Если горѣлкой подогрѣемъ шаръ, то часть заключеннаго въ шарѣ и трубкѣ воздуха уходитъ, поднимаясь въ видѣ многочисленныхъ пузырьковъ изъ воды. При охлажденіи шара часть трубки наполняется водой. Если теперь теплой рукой коснемся шара, то вода въ трубкѣ снова понижается (Почему?). Опытъ покажетъ то же самое, если шаръ и трубка будутъ наполнены какимъ-либо другимъ газомъ (напр., свѣтильнымъ), а не воздухомъ.



Фиг. 84.

Путемъ этихъ опытовъ, а также и многихъ другихъ найдено, что при нагрѣваніи всякое тѣло расширяется, объемъ его увеличивается, при охлажденіи оно сжимается, т. е. объемъ его уменьшается. Измѣненія въ тепловомъ состояніи тѣла вызываютъ, такимъ образомъ, **измѣненія объема**, такъ что болѣе высокой степени нагрѣтости всегда соотвѣтствуетъ и большій объемъ.

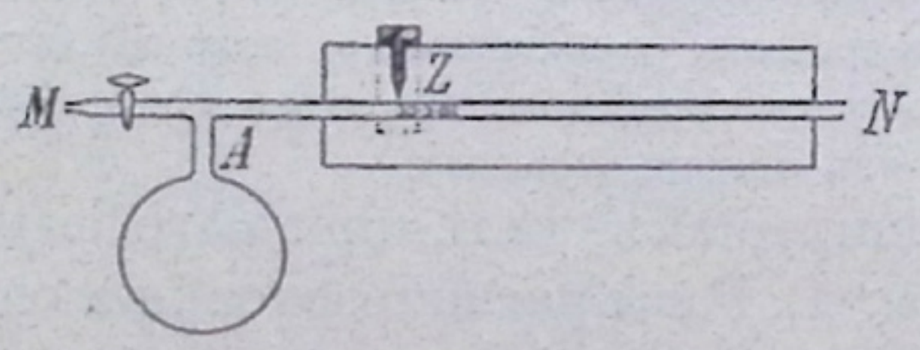
Сырое дерево, кожа, глина и т. п. при нагрѣваніи сжимаются и поэтому составляютъ, повидимому, исключенія изъ высказаннаго закона. Однако это отступленіе наблюдается лишь до тѣхъ поръ, пока изъ поръ тѣлъ не будетъ удалена вся вода; послѣ они слѣдуютъ общему правилу.

Точными опытами надъ расширеніемъ тѣлъ при нагрѣваніи установлены слѣдующіе законы: 1. Газы расширяются при одинаковомъ нагрѣваніи значительно больше, чѣмъ жидкости, а эти послѣднія больше, чѣмъ твердыя тѣла. 2. Всѣ газы при одинаковомъ нагрѣваніи расширяются одинаково. Если нагрѣемъ опредѣленный объемъ газа отъ той степени нагрѣтости, которую имѣетъ тающій ледъ, до той степени, которой обладаетъ кипящая вода, то начальный объемъ газа увеличится приблизительно на одну треть (точнѣе на $^{100}/_{273}$) своей величины. Наоборотъ, различныя жидкости и различныя твердыя тѣла расширяются неодинаково при одномъ и томъ-же нагрѣваніи.

3. Приведенные законы справедливы и для сжатія тѣлъ при охлажденіи, если только соотвѣтственно измѣнить ихъ формулировку.

Сила, съ которой тѣла расширяются при нагрѣваніи и сжимаются при охлажденіи, очень велика; въ твердыхъ тѣлахъ она бываетъ иной разъ прямо непреодолима. На этомъ основанъ рядъ явленій, которыя мы ежедневно наблюдаемъ и которыми часто пользуемся. Объясните слѣдующія явленія: желѣзныя шины сперва нагрѣваютъ, а затѣмъ набиваютъ на деревянный ободъ колеса. Между отдѣльными рельсами на желѣзныхъ дорогахъ всегда оставляются свободные промежутки. Скрѣпленные желѣзными скобами камни при большихъ морозахъ часто трескаются. Толстостѣнные стаканы лопаются, если налить въ нихъ горячей воды; ламповыя стекла часто лопаются отъ слишкомъ сильнаго или неодинаково высокаго пламени; какія ламповыя стекла лучше брать, изъ толстаго или тонкаго стекла? При большихъ морозахъ телеграфные и телефонные провода часто обрываются; какъ это предупредить? Если заключаемъ стекла въ металлическія рамы, то необходимо оставлять свободные промежутки (стеклянныя крыши); точно такъ же и въ металлическихъ крышахъ отдѣльные листы не склепываются другъ съ другомъ, а соединяются въ фальцъ. Плотно сидящія, притертыя, стеклянныя пробки можно вынуть, если осторожно нагрѣть горлышко бутылки; почему ихъ не слѣдуетъ вставлять обратно, пока нагрѣтое горлышко не остынетъ совершенно? Почему не слѣдуетъ наполнять до-верху керосиновыя, спиртовыя лампы. Объясните то явленіе, что на внутренней стѣнкѣ стакана съ водой появляются многочисленные пузырьки воздуха, если онъ долгое время стоитъ въ т е п л о й комнатѣ?

48. **Термоскопъ.** Въ предыдущемъ § мы узнали, что съ измѣненіемъ теплового состоянія тѣла, измѣняется его объемъ и при томъ всегда такъ, что б о л ѣ е в ы с о к о й с т е п е н и т е п л о в о г о с о с т о я н і я т ѣ л а соотвѣтствуетъ и б о л ь ш і й о б ъ е м ъ. Этимъ свойствомъ можно воспользоваться, чтобы судить о степени теплового состоянія по величинѣ объема тѣла. Такъ какъ газы особенно сильно расширяются при нагрѣваніи, то простѣйшій приборъ для опредѣленія степени нагрѣтости представится, какъ изображено на фиг. 85. Онъ состоитъ изъ тонкостѣннаго шара *A* съ короткой трубочкой, къ которой припаяна подъ прямымъ угломъ длинная трубка *MN*. На короткомъ концѣ (*M*) послѣдней имѣется стеклянный кранъ. Къ длинной части трубки прикрѣплена сзади полоска картона, на которой въ любомъ мѣстѣ можетъ быть установленъ указатель *Z* изъ тонкой жести. Въ длинную часть трубки впускается капля подкрашенной жидкости, которая такимъ образомъ отдѣляетъ воздухъ, заключенный внутри шара и части трубки, отъ наружнаго. Если нагрѣемъ (хотя бы немного) этотъ замкнутый объемъ воздуха, то капля



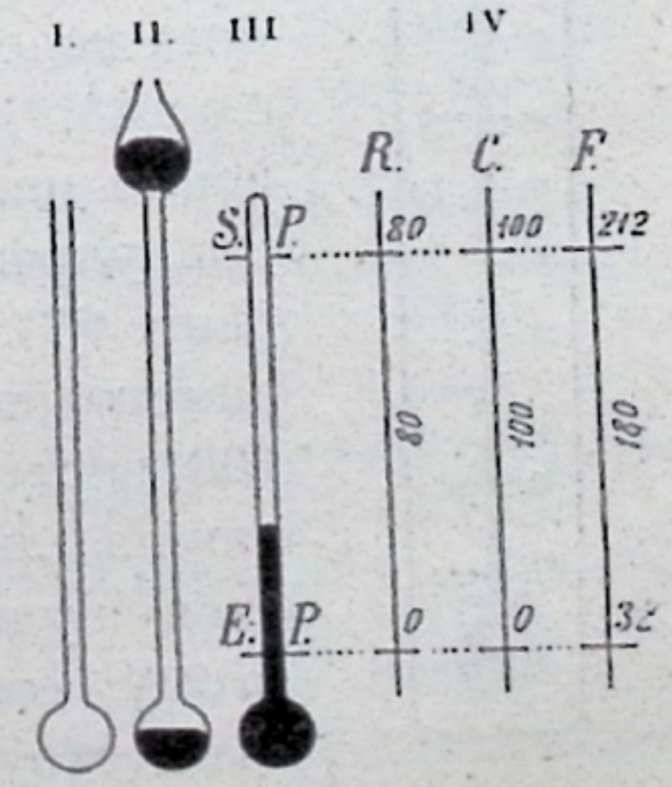
Фиг. 85.

жидкости (указатель) передвигается къ открытому концу трубки. Обратно. если мы наблюдаемъ, что капля жидкости передвинулась вправо, то заключаемъ, что степень теплового состоянія находящагося въ приборѣ воздуха, повысилась. Этотъ приборъ мы можемъ употреблять также и для наблюденія за тепловымъ состояніемъ *другихъ тѣлъ*. Именно, если приведемъ шаръ въ продолжительное соприкосновеніе съ другимъ тѣломъ, которое теплѣе или холоднѣе его, то, какъ мы это позже подробнѣе разсмотримъ, происходитъ уравниваніе тепловыхъ состояній; теплое тѣло остываетъ, а холодное нагрѣвается до тѣхъ поръ, пока оба тѣла, испытуемое и шаръ термоскопа съ заключеннымъ въ немъ воздухомъ, не будутъ обладать одной и той же степенью нагрѣтости. Смотря по тому, теплѣе ли испытуемое тѣло или холоднѣе шара, указатель цвижется впередъ или назадъ.

Движеніе впередъ (направо) мы наблюдаемъ, если коснемся шара теплой рукой, движеніе назадъ — если погрузимъ его въ холодную воду.

Описанный простой приборъ *указываетъ*, такимъ образомъ, *степень теплового состоянія* и называется **термоскопомъ**.

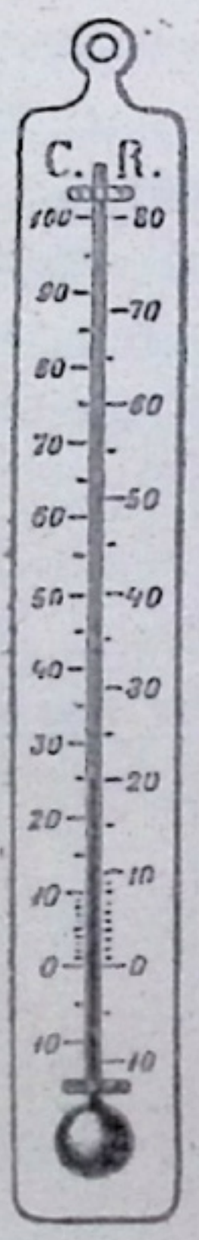
49. **Термометръ**. Чтобы *точно* опредѣлить или *измѣрить* степень теплового состоянія употребляютъ *термометры*. Наиболѣе распространенъ общеизвѣстный **ртутный термометръ**. Для изготовленія его берутъ волосную трубку (капиллярную трубку, *термометрическую* трубку), которая внутри *повсюду имѣетъ одинаковую ширину* канала и въ концѣ ея выдуваютъ шарикъ или цилиндрическій сосудъ (резервуаръ)—*термометрическій сосудъ* (фиг. 86 I). Чтобы наполнить его ртутью, припаиваютъ вверху трубки особый грушевидный сосудъ, въ который наливаютъ ртуть (фиг. 86 II). Нагрѣвая и затѣмъ охлаждая шарикъ, мы достигаемъ того, что шарикъ и трубка наполняется горячей ртутью (Сравните съ опытомъ, изображеннымъ на фиг. 84). Когда ртуть остынетъ, мы нагрѣваемъ ее снова и выгоняемъ при этомъ столько ртути, чтобы оставшаяся ртуть при *средней температурѣ* заполняла шарикъ и приблизительно одну треть трубки. Затѣмъ оттягиваемъ на огнѣ



Фиг. 86.

трубку на достаточномъ разстояніи отъ шарика въ тонкую иглу, снова нагрѣваемъ шарикъ, пока изъ отверстія иглы не выступитъ маленькая капелька ртути, и запаиваемъ отверстіе. Когда ртуть при охлажденіи сожмется, воздухъ уже не можетъ проникнуть въ образовавшуюся надъ ртутью пустоту; мы имѣемъ поэтому надъ ртутью въ термометрѣ безвоздушное пространство.

Наполненный и запаянный такимъ образомъ термометрическій сосудъ (фиг. 86 III) снабжается дѣленіями на градусы или шкалой; для этой цѣли сперва опредѣляются двѣ основныя точки, а именно: точка таянія льда и точка кипѣнія воды. Чтобы получить точку таянія льда, шарикъ термометра окружаютъ чистымъ тающимъ льдомъ и оставляютъ его тамъ до тѣхъ поръ, пока ртуть, опускаясь, не остановится **неизмѣнно** въ одной точкѣ. Эту точку отмѣчаютъ тонкой чертой. Чтобы опредѣлить точку кипѣнія воды, помѣщаютъ термометрическую трубку въ кипятильникъ (колбу), наполненный кипящей водой, такъ что шарикъ термометра находится какъ разъ надъ поверхностью кипящей воды и окруженъ парами кипящей воды (ср. фиг. 93 на стр. 77). Ртуть, поднимаясь, вскорѣ снова останавливается въ нѣкоторой точкѣ. Эта точка и есть точка кипѣнія воды и она тотчасъ отмѣчается на трубкѣ (фиг. 86 III).



Фиг. 87.

Разстояніе между этими двумя точками, которое, конечно, бываетъ различно, смотря по ширинѣ трубки и величинѣ шарика, называютъ основнымъ разстояніемъ; оно дѣлится затѣмъ на опредѣленное число равныхъ частей (градусовъ).*). Дѣленіе на градусы или шкалу обыкновенно наносятъ на деревянной дощечкѣ, на которой укрѣпляется готовая термометрическая трубка (фиг. 87). По примѣру физика Реомюра основное разстояніе дѣлится на 80 частей, по Цельсію на 100 частей, по Фаренгейту на 180 частей. Точка таянія льда въ первыхъ двухъ случаяхъ обозначается нулемъ, въ третьемъ случаѣ числомъ 32. Поэтому точкѣ кипѣнія воды по шкалѣ Реомюра соотвѣтствуетъ 80, по Цельсію — 100, по Фаренгейту 212 (= 180 + 32) (фиг. 86IV).

---

*) Поэтому, прежде, чѣмъ пустить въ дѣло трубку, нужно провѣрить, всюду ли у нея одинаковое сѣченіе (калибръ). Такую провѣрку называютъ калибрированіемъ трубки.

Вверхъ отъ точки кипѣнія воды и внизъ отъ точки таянія льда наносятся градусы, насколько допускаетъ длина трубки. Въ шкалѣ Фаренгейта **нулевая** точка лежитъ на 32 дѣленія ниже точки таянія льда. Градусы, лежащіе выше нулевой точки, отмѣчаютъ знакомъ + (плюсъ) и называютъ градусами тепла, градусы, лежащіе ниже ея, отмѣчаютъ знакомъ — (минусъ) и называютъ градусами холода. $+18^0$R обозначаетъ 18 градусовъ выше нуля по шкалѣ Ремюра, -9^0 Ц значитъ 9 градусовъ ниже нуля по шкалѣ Цельсія. **Температурой** даннаго тѣла называютъ число градусовъ, которое укажетъ термометръ при соприкосновеніи съ даннымъ тѣломъ.

Термометры Реомюра употребляются въ общежитіи, главнымъ образомъ въ Россіи, Австріи и Германіи. Во Франціи употребляется термометръ Цельсія. Термометры Фарэнгейта употребляются въ Англіи и во всѣхъ внѣевропейскихъ странахъ, гдѣ преобладаетъ англійскій языкъ. Въ научныхъ изслѣдованіяхъ повсюду и всегда употребляется термометръ Цельсія.

Такъ какъ ртуть замерзаетъ при -39^0 Ц, то ртутными термометрами нельзя пользоваться при измѣреніи очень низкихъ температуръ; въ такихъ случаяхъ примѣняютъ спиртовой термометръ, наполненный подкрашеннымъ спиртомъ. Эти термометры въ свою очередь непригодны для измѣренія болѣе высокихъ температуръ, такъ какъ спиртъ тогда расширяется неравномѣрно и уже при $+78^0$ Ц кипитъ. Укороченные термометры (комнатные термометры, термометры для ваннъ) снабжаются одной шкалой, которая доходитъ обыкновенно до $+40^0$ Р. и нанесена при помощи сравненія показаній даннаго термометра съ отсчетами на хорошемъ нормальномъ термометрѣ.

Часто приходится переводить отсчеты, сдѣланные по одной шкалѣ, въ градусы другой шкалы. Это дѣлается на основаніи очень простыхъ вычисленій. Если мы желаемъ, напр., узнать, сколькимъ градусамъ по шкалѣ Цельсія соотвѣтствуетъ $+30^0$ Р., то для разсчета пользуемся тѣмъ соображеніемъ, что 80^0Р.$=100^0$Ц., поэтому 1^0 Р.$=\frac{100}{80}=\frac{5^0}{4}$ Ц, а 30^0 Р.$=\left(30 \text{ разъ } \frac{5}{4}\right)^0$ Ц.$=\left(\frac{150}{4}\right)^0$ Ц.$=37{,}5^0$ Ц.

Объясните, какъ выводятся слѣдующія простыя правила, примѣняемыя на практикѣ: a^0 Р.$=\left(a+\frac{a}{4}\right)^0$ Ц.; b^0 Ц.$=\left(b-\frac{b}{5}\right)^0$ Р!

Если желаютъ опредѣлить температуру наружнаго воздуха, то лучше всего вывѣсить термометръ на сѣверной сторонѣ зданія въ тѣни. (Почему?). Покажетъ-ли намъ термометръ дѣйствительную температуру воздуха въ комнатѣ, если повѣсимъ на выходящей наружу стѣнѣ? Повѣсьте въ комнатѣ два термометра: одинъ высоко, а другой внизу, и дѣлайте время отъ времени отсчеты температуръ. Вы будете каждый разъ получать нѣкоторую разницу въ показаніяхъ обоихъ термометровъ. Что отсюда слѣдуетъ? Какъ опредѣляютъ температуру жидкостей? (Термометръ для ваннъ). Чтобы опредѣлить температуру крови у человѣка, термометръ помѣщаютъ въ подмышку и плотно прижимаютъ руку къ тѣлу. Черезъ нѣсколько минутъ у здороваго человѣка термометръ укажетъ около $+37^0$ Ц.

50. **Особенность расширенія воды.** Вода, играющая въ природѣ огромную роль и являющаяся однимъ изъ наиболѣе распространенныхъ тѣлъ, представляетъ замѣчательное исключеніе изъ того правила, что **большей** температурѣ тѣлъ соотвѣтствуетъ и большій объемъ. Если наполнимъ подкрашенной водой, освобожденной долгимъ кипяченіемъ отъ поглощеннаго ею воздуха, сосудъ, изображенный на фиг. 83, и поставимъ его на нѣсколько часовъ въ тающій ледъ, то уровень воды займетъ вполнѣ опредѣленное положеніе, соотвѣтствующее температурѣ таянія льда, т. е. 0° Ц. Отмѣтивъ это положеніе уровня воды въ трубкѣ, помѣстимъ приборъ въ тепловатую воду, тогда черезъ нѣкоторое время вода въ трубкѣ не подымается, какъ мы должны были бы ожидать, а понижается. Затѣмъ столбикъ жидкости останавливается и тотчасъ-же начинаетъ уже непрерывно подниматься. Итакъ, вода при нагрѣваніи отъ 0° до нѣкоторой опредѣленной температуры сжимается и лишь при нагрѣваніи выше этой температуры начинаетъ расширяться, подчиняясь общему правилу. Точныя многократно повторенныя измѣренія показали, что температура эта равна + 4° Ц; слѣдовательно, при этой температурѣ вода занимаетъ наименьшій объемъ и имѣетъ наибольшую плотность, а именно плотность — 1.

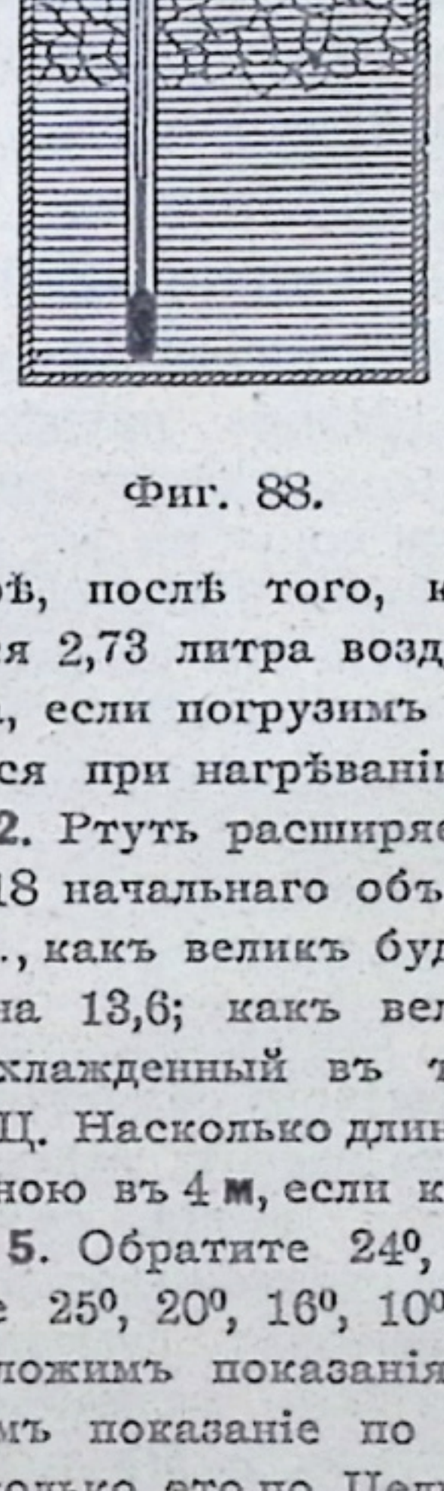
Если, наполнивъ бутылку доверху водой, плотно закроемъ ее пробкой и выставимъ ее на морозъ или же искусственно охладимъ такъ, чтобы вода замерзла (§ 58), то образующійся изъ воды ледъ не можетъ помѣститься въ бутылкѣ; онъ стремится расширяться съ огромной силой и **вслѣдствіе давленія на стѣнки бутылки, послѣдняя лопается.**

Если мы заморозимъ 1 **дцм³** воды, взятой при 0° Ц., то въ видѣ льда она займетъ пространство въ 1,09 **дцм³**. Такимъ образомъ, при замерзаніи объемъ воды увеличивается на $^1/_{11}$ той величины, которую онъ имѣлъ при 0°. Желѣзныя водопроводныя трубы лопаются, если въ нихъ замерзаетъ вода. Поэтому въ холодные зимніе дни слѣдуетъ оставлять водопроводные краны слегка открытыми, чтобы вода не оставалась неподвижной, такъ какъ тогда она труднѣе замерзаетъ. Вода, попадая въ щели и трещины горныхъ породъ, ускоряетъ ихъ вывѣтриваніе, такъ какъ, расширяясь при замерзаніи, она раздробляетъ на куски даже очень твердые камни. Наполненные сокомъ стволы деревьевъ растрескиваются въ сильные зимніе морозы. Замерзаніе воды является часто причиной того, что отдѣльные камни мостовой приподнимаются и отдѣляются отъ сосѣднихъ.

Нальемъ воды въ большой стаканъ (фиг. 88) и станемъ бросать туда кусочки льда. Они плаваютъ на поверхности, такъ какъ ледъ, какъ мы знаемъ, имѣетъ нѣсколько меньшую плотность, чѣмъ вода. Мы бросаемъ эти кусочки льда въ воду до тѣхъ поръ, пока они не заполнятъ верхней половины стакана, и погружаемъ въ воду два термометра такъ, что шарикъ одного изъ нихъ находится

среди льда почти у поверхности, а шарикъ другого термометра почти касается дна сосуда. Спустя нѣкоторое время, верхній термометръ покажетъ ровно 0^0, а нижній $+ 4^0$ Ц.

То, что нижній термометръ, спустя нѣкоторое время послѣ начала опыта, неизмѣнно показываетъ $+ 4^0$ Ц. и доказываетъ, что при $+ 4^0$ Ц. вода имѣетъ наибольшую плотность.



Фиг. 88.

Оба эти факта: то, что вода при всякой другой температурѣ имѣетъ меньшую плотность, чѣмъ при $+ 4^0$ Ц., и то, что ледъ плаваетъ на поверхности воды, играютъ огромную роль въ природѣ. Такъ, если вода въ рѣкѣ или озерѣ охладится на поверхности до $+ 4^0$ Ц., то она опустится внизъ и соберется въ нижнихъ слояхъ; вода же, охлажденная на поверхности до 0^0, замерзнетъ (сравните это явленіе съ нашимъ послѣднимъ опытомъ). Поэтому вода замерзаетъ сверху, и ледъ образуетъ какъ бы защитный покровъ, который не даетъ водѣ промерзнуть до дна. На днѣ глубокихъ бассейновъ вода всегда имѣетъ температуру $+ 4^0$ Ц., а потому ледъ не можетъ образоваться. Если бы этого не было, то въ холодную зиму погибали бы всѣ животныя, живущія въ водѣ.

Задачи: 1. Въ плотно завязанномъ животномъ пузырѣ, послѣ того, какъ онъ долгое время находился въ водѣ со льдомъ, содержится 2,73 литра воздуха. Какъ великъ будетъ объемъ заключеннаго въ немъ воздуха, если погрузимъ его въ воду, имѣющую температуру $+ 27^0$ Ц. (Газы расширяются при нагрѣваніи на $+ 1^0$ Ц. на $^1/_{273}$ объема, который они занимали при 0^0 Ц). 2. Ртуть расширяется при нагрѣваніи отъ 0^0 Ц. до $+100^0$ Ц. приблизительно на 0,018 начальнаго объема. Если нагрѣемъ 1 **литръ** ртути, взятой при 0^0 Ц. до $+ 150^0$ Ц., какъ великъ будетъ занимаемый ею объемъ? 3. Плотность ртути при 0^0 Ц. равна 13,6; какъ велика она при $+ 150^0$ Ц? 4. Стальной стержень длиной въ 1 **м**, охлажденный въ тающемъ льдѣ, удлиняется на 0,000012 **м** при нагрѣваніи на 1^0 Ц. Насколько длиннѣе бываетъ поэтому зимой, чѣмъ лѣтомъ стальной рельсъ длиною въ 4 **м**, если колебанія температуры заключаются между -30^0 Ц. и $+ 40^0$ Ц.? 5. Обратите 24^0, 20^0, 18^0, 7^0, 2^0, -8^0, -12^0 Р. въ градусы Цельсія! 6. Обратите 25^0, 20^0, 16^0, 10^0, 3^0, -8^0, -12^0 Ц. въ градусы Реомюра! 7. Почему, если мы сложимъ показанія по Цельсію и Реомюру и къ суммѣ прибавимъ 32^0, то получимъ показаніе по Фарэнгейту? 8. Комнатный термометръ показываетъ 12^0 Р. Сколько это по Цельсію и сколько по Фарэнгейту? 9. Сколькимъ градусамъ по Реомюру и сколькимъ по Цельсію соотвѣтствуютъ отсчеты $+100^0$, $+72^0$, $+52^0$, $+32^0$, 0^0, -32^0 Ф.?

51. **Количество тепла.** Смѣшаемъ возможно быстро 1 **кгр** воды при $+ 70^0$ Ц. съ 1 **кгр** воды при $+ 10^0$ Ц.; мы получимъ 2 **кгр** воды, имѣющей температуру 40^0 Ц. Итакъ, холодная вода нагрѣлась на 30^0 на счетъ болѣе теплой, а послѣдняя охладилась на 30^0. Если же смѣшаемъ 4 **кгр** воды при 80^0 Ц. съ 3 **кгр** воды при

10° Ц., то получимъ 7 **кгр** воды при 50° Ц. *). Въ этомъ случаѣ холодная вода нагрѣлась на 40° Ц, а теплая охладилась на 30° Ц. Если помножимъ числа, выражающія количество воды, на соотвѣтствующія числа градусовъ измѣненія температуры, то получимъ каждый разъ одно и то-же произведеніе; такъ $4 \times 30 = 3 \times 40$. Произведенія изъ числа килограммовъ воды на соотвѣтственное число измѣненія температуры, выраженное въ градусахъ по Цельсію, выражаетъ собою, какъ то будетъ подробнѣе дальше выяснено, соотвѣтственно полученное или отданное **количество тепла**. За **единицу количества тепла** принимаютъ то количество тепла, которое нагрѣваетъ 1 **кгр** воды, взятой при 0° Ц на 1° Ц. Его называютъ **килограммъ-калоріей** или большой калоріей, тысячную часть его **граммъ-калоріей** или малой калоріей. То же количество тепла нужно, какъ мы узнаемъ изъ опыта, для того, чтобы нагрѣть 1 **кгр** воды, взятый при какой-нибудь другой температурѣ (напр. 40° Ц. или 85° Ц.) на 1° Ц.

Чтобы нагрѣть 1 **кгр** воды на 1°, 2°, 3°... Ц., нужно ему сообщить соотвѣтственно 1, 2, 3... калоріи. Поэтому, чтобы нагрѣть 3 **кгр** воды на 8°, нужно затратить $3 \times 8 = 24$ калоріи. Точно такъ же, если 3 **кгр** воды остываютъ на 8°, то они теряютъ $3 \times 8 = 24$ калоріи. Во второмъ нашемъ опытѣ 4 **кгр** воды, которые охладились отъ 80° до 50° Ц, т. е. на 30° Ц, потеряли $4 \times 30 = 120$ калорій; наоборотъ, 3 **кгр** воды, нагрѣвшіеся отъ 10° до 50° Ц., т. е. на 40°, получили $3 \times 40 = 120$ калорій. Итакъ, болѣе холодная вода при смѣшеніи съ болѣе теплой получаетъ ровно такое-же количество тепла, какое теряетъ послѣдняя.

Результатъ описанныхъ опытовъ представляетъ собой собственно въ ариѳметическомъ смыслѣ не что иное, какъ среднее значеніе величины, полученное по правилу смѣшенія. Если смѣшаемъ два сорта товара цѣною въ 70 коп. и 10 коп. за **кгр**, то 2 **кгр** смѣси стоятъ 70 коп. + 10 коп. = 80 коп.; а 1 **кгр** смѣси стоитъ 40 коп. Итакъ, килограммъ высшаго сорта потерялъ въ цѣнѣ 30 коп., а килограммъ низшаго сорта повысился въ цѣнѣ на тѣ-же 30 коп. (сравните съ этимъ нашъ первый опытъ!) Если смѣшаемъ два сорта товара, а именно 4 **кгр** по 80 коп. за **кгр** и 3 **кгр** по 10 коп. за **кгр**, то цѣна 7 **кгр** смѣси равна $= 4 \times$ $\times$ 80 коп. $+ 3 \times 10$ коп. $= 350$ к; одинъ килограммъ смѣси стоитъ поэтому 50 к. Итакъ, килограммъ лучшаго сорта потерялъ въ цѣнѣ 30 коп., а килограммъ худшаго сорта повысился въ цѣнѣ на 40 коп. Снова потеря въ цѣнѣ 4 **кгр** товара лучшаго качества (4×30 коп. $= 120$ коп.) сравнивается выигрышемъ въ цѣнѣ 3 **кгр** худшаго сорта (3×40 коп. $= 120$ коп.). (Сравните съ этимъ нашъ второй опытъ).

---

*) Опытъ можетъ быть произведенъ и съ десятыми частями указанныхъ количествъ.

52. **Удѣльная теплоемкость.** Поставимъ въ большой сосудъ съ кипящей водой небольшую стеклянную колбу, вмѣщающую 1 **кгр** ртути, и оставимъ ее тамъ до тѣхъ поръ, пока погруженный въ ртуть термометръ не покажетъ ровно 100° Ц. Выльемъ теперь ртуть въ большой стаканъ, содержащій 1 **л** воды при 10° Ц. и быстро перемѣшаемъ все термометромъ. Вода и ртуть имѣютъ теперь температуру 12,6° Ц; итакъ, вода нагрѣлась на 2,6° Ц. Для этого необходимо было затратить 2,6 калорій, слѣдовательно это количество тепла было взято отъ нагрѣтой ртути (1 **кгр**), охладившейся при этомъ отъ 100° до 12,6°, т. е. на 87,4° Ц. Итакъ, чтобы нагрѣть 1 **кгр** ртути на 87,4° Ц., нужно 2,6 калорій, а чтобы нагрѣть на 1° Ц., необходимо только 2,6 : 87,4 или **0,03** калоріи. Мы получаемъ на основаніи нашего опыта слѣдующій замѣчательный результатъ. Въ то время, какъ для нагрѣванія 1 **кгр** воды на 1° Ц нужно затратить 1 калорію, для нагрѣванія 1 **кгр** ртути на 1° Ц. нужно только 0,03 калоріи. Количество тепла, которое нужно затратить, чтобы нагрѣть 1 **кгр** вещества (въ нашемъ случаѣ 1 **кгр** ртути) на 1° Ц., называютъ **удѣльною теплоемкостью** даннаго вещества.

На основаніи ряда опытовъ, подобныхъ описанному, найдено, что наименьшую удѣльную теплоемкость имѣютъ металлы (напр. желѣзо 0,1, олово 0,06, платина, свинецъ и ртуть по 0,03); удѣльная теплоемкость жидкостей нѣсколько больше (напр. керосинъ 0,5, спиртъ 0,6). Удѣльную теплоемкость воды, которая равна 1 (такъ какъ для того, чтобы нагрѣть на 1° Ц. 1 **кгр** воды, нужно 1 калорію), превосходитъ только удѣльная теплоемкость водорода (равная 3,4). Итакъ, изъ всѣхъ жидкихъ и твердыхъ тѣлъ вода обладаетъ наибольшею удѣльною теплоемкостью. Этотъ фактъ имѣетъ для насъ очень большое значеніе. Если бы удѣльная теплоемкость воды была незначительной, то въ тепломъ и особенно въ жаркомъ поясѣ температура морской воды подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей повышалась бы настолько что ни въ океанѣ, ни у его береговъ не была бы возможна органическая жизнь. Въ данныхъ же условіяхъ огромная масса воды океановъ составляетъ для прибрежныхъ странъ подъ тропиками, какъ бы охладительный резервуаръ, а для болѣе холодныхъ поясовъ, она же является источникомъ тепла; итакъ, море смягчаетъ рѣзкія колебанія въ температурѣ различныхъ временъ года и оказываетъ тѣмъ въ значительной степени вліяніе на благосостояніе человѣка. Наоборотъ, низкая удѣльная теплоемкость металловъ, приноситъ намъ громадную пользу, т. к. благодаря ей мы можемъ нагрѣвать ихъ до тѣхъ высокихъ температуръ (температуры накаливанія, плавленія), которыя необходимы для ихъ обработки.

Задачи: 1. Сколько нужно калорій, чтобы нагрѣть 1 **кгр** воды отъ 0° Ц. до 25° Ц, и отъ 16° Ц. до 84° Ц? — **2.** Сколько нужно калорій, чтобы нагрѣть 6 **кгр** воды отъ 16° Ц. до 50°? — Сколько калорій нужно, чтобы нагрѣть при тѣхъ же условіяхъ 6 **кгр** ртути? — **3.** Сколько калорій отдаютъ 8 **кгр** воды при охлажденіи съ 75° Ц. до 20° Ц? — **4.** Какая окончательная температура получится при смѣ-

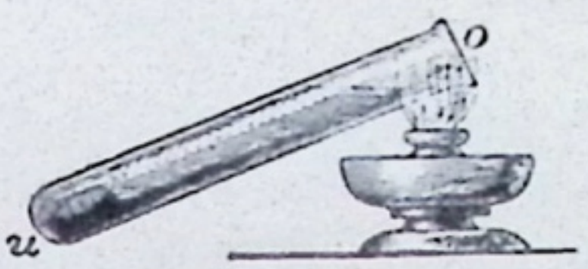
шенiи 4 кгр воды при 15° Ц. съ 6 кгр воды при 25° Ц? Вычислите количество тепла, полученное холодной водой и отданное теплой водой. — **5.** 3 кгр. ртути при 1000° Ц. быстро смѣшаны съ 1 кгр воды при 23,7° Ц. Какую окончательную температуру будетъ имѣть смѣсь?

53. **Теплопроводность.** Возьмемъ мѣдный стержень за одинъ конецъ, а другой его конецъ станемъ нагрѣвать въ пламени горѣлки; вскорѣ и часть стержня, находящаяся внѣ пламени, нагрѣется настолько сильно, что нельзя будетъ стержень держать въ рукѣ. Этотъ простой опытъ показываетъ намъ то, о чемъ мы уже упомянули въ § 48 и подробнѣе говорили въ § 51 и 52, а именно, что, если соприкасаются два тѣла, имѣющія неодинаковую температуру, то болѣе теплое тѣло всегда отдаетъ тепло болѣе холодному. Конецъ стержня, находившiйся въ пламени, нагрѣвался; онъ становился теплѣе нѣкоторой сосѣдней части стержня, которая была внѣ пламени. Эти двѣ части стержня, слѣдовательно, вполнѣ сходны съ двумя соприкасающимися тѣлами, имѣющими различную температуру; болѣе теплое изъ нихъ нагрѣваетъ болѣе холодное. Точно такое же разсужденiе примѣнимо къ слѣдующей (второй) части стержня, прилегающей къ 1-ой, нагрѣвшейся отъ соприкосновенiя, третей къ четвертой и т. д. Такимъ образомъ, нагрѣваніе стержня распространяется отъ части, непосредственно нагрѣваемой пламенемъ, къ другому концу; такое распространенiе нагрѣванiя называютъ **теплопроводностью.** Если продѣлаемъ подобные опыты со стержнями одинаковой длины и толщины, но изъ различнаго матеріала, какъ напр. мѣди, дерева, стекла и т. д., то увидимъ, что въ различныхъ стержняхъ теплота распространяется съ неодинаковой скоростью. Стекло и дерево медленно проводятъ тепло отъ одного мѣста къ другому, а мѣдь и другiе металлы — быстро. По величинѣ теплопроводности тѣла раздѣляютъ на хорошiе и дурные проводники тепла. Въ **хорошихъ проводникахъ тепла** нагрѣванiе быстро распространяется, но такъ же быстро они и остываютъ, если привести ихъ въ соприкосновенiе съ холодными тѣлами. **Въ дурныхъ проводникахъ** и нагрѣванiе и охлажденiе идутъ медленно.

Наилучшими проводниками тепла являются металлы; изъ нихъ лучше всего проводитъ серебро, за нимъ слѣдуютъ мѣдь, латунь, цинкъ, желѣзо, свинецъ, ртуть. (Опыты съ различными металлическими стерженьками, къ которымъ приклеены воскомъ деревянные шарики на одинаковыхъ разстоянiяхъ другъ отъ друга). Менѣе хорошими проводниками (полупроводниками)

являются большая часть минераловъ, обожженная глина и т. п. Плохіе проводники — стекло, дерево, пепелъ, солома, волосы, холстъ, деревянные опилки, шерсть, шелкъ, пухъ, вата (вообще всѣ рыхлыя массы, заключающія много воздуха), снѣгъ, ледъ и проч.

Держа наклонно пробирку (фиг. 89), наполненную водой, нагрѣемъ верхній ея конецъ *о*. Вода нагрѣвается въ *о* настолько сильно, что въ этомъ мѣстѣ нельзя дотронуться до пробирки, въ то же время нижній конецъ *и* остается холоднымъ. Если опустимъ на дно пробирки кусочекъ льда, обернутый свинцовой проволокой, то ледъ таетъ очень медленно. То же будемъ наблюдать, если воду замѣнимъ какой нибудь другой жидкостью. Только при опытѣ со ртутью вскорѣ же ощущается сильное нагрѣваніе нижняго конца *и*.



Фиг. 89.

Итакъ, всѣ жидкости (кромѣ ртути и расплавленныхъ металловъ) являются дурными проводниками тепла.

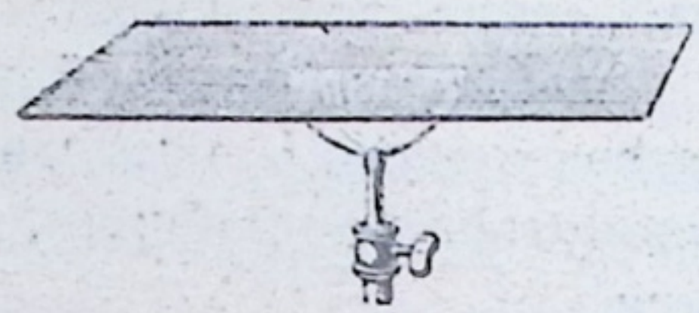
Почему ртуть составляетъ исключеніе? — Почему въ озерахъ и прудахъ вода нагрѣвается солнечными лучами только на небольшую глубину отъ поверхности, а глубже остается часто все лѣто очень холодной? При отвѣтѣ на послѣдній вопросъ примите также во вниманіе сказанное въ § 52.

Газы подобно жидкостямъ являются плохими проводниками тепла.

Объясните назначеніе слоя воздуха между двойными оконными рамами и двойными дверьми. — Хорошіе проводники тепла примѣняются въ тѣхъ случаяхъ, когда желаютъ, чтобы нагрѣваніе тѣла быстро распространялось. Въ металлической кухонной посудѣ жидкость скорѣе нагрѣвается, чѣмъ въ глиняной. Желѣзныя печи скорѣе нагрѣваютъ комнату, чѣмъ кафельныя. — Плохіе проводники тепла употребляются тогда, когда желаютъ помѣшать притоку тепла или же потерѣ его. Укажите къ чему мы стремимся въ каждомъ изъ приведенныхъ ниже примѣровъ: Платье и постель дѣлаются изъ плохихъ проводниковъ тепла. Полы покрываютъ зимой коврами. Водопроводныя трубы зимой окутываютъ соломой или полосками сукна, чтобы предохранить отъ замерзанія. Утюги, ухваты, печныя дверцы дѣлаются часто съ деревянными ручками. Въ промежутокъ между двойными стѣнками огнеупорныхъ шкафовъ насыпаютъ золу. Пространства между стѣнками въ комнатныхъ ледникахъ заполняются плохими проводниками тепла, напр. волосомъ, шерстью, опилками и т. п.

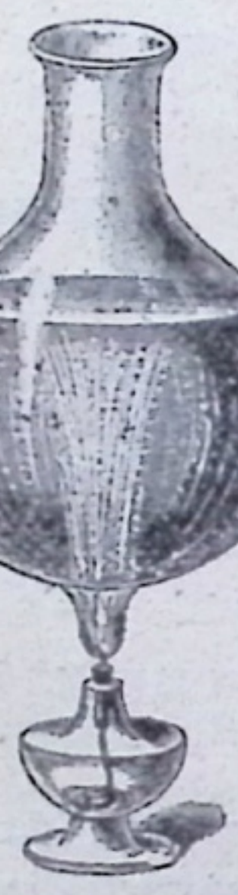
Снѣжный покровъ защищаетъ посѣвы отъ морозовъ. Ледяной покровъ замедляетъ зимою охлажденіе нижележащихъ слоевъ воды (ср. § 50). Эскимосы строятъ изъ льда хижины. Почему всадники зимой оборачиваютъ стремена соломой? Производятъ ли наши шерстяныя платья, перины и т. п. тепло? Съ какой же цѣлью они употребляются? На чердакахъ, находящихся подъ металлическими крышами зимой очень холодно, а лѣтомъ невыносимо жарко. (Почему?).

Раскаленные угли на металлическихъ плитахъ очень быстро потухаютъ. (Почему?). Держите надъ пламенемъ густую металлическую сѣтку! Пламя какъ будто срѣзано ею (фиг. 90); надъ сѣткой мы можемъ держать палецъ, не боясь ожога (Почему?).



Фиг. 90.

54. **Переносъ теплоты (конвекція) въ жидкостяхъ.** Если возьмемъ пробирку (фиг. 89) съ водой за верхній конецъ особыми щипцами и станемъ ее подогрѣвать снизу, то вся вода въ пробиркѣ очень скоро нагрѣется. Этотъ опытъ какъ будто противорѣчитъ описаннымъ выше. Чтобы выяснить въ чемъ дѣло, возьмемъ колбу (фиг. 91), наполненную холодной водой, въ которую набросаны нити пропускной бумаги, или пробковый или же янтарный, мелкій порошокъ, однимъ словомъ, — легкія и нерастворимыя въ водѣ тѣльца, и станемъ снизу подогрѣвать колбу. По движенію маленькихъ частичекъ мы замѣтимъ, что частицы воды поднимаются отъ нагрѣтой части дна вверхъ (такъ какъ при нагрѣваніи онѣ расширяются и дѣлаются потому менѣе плотными). Отдавъ свое тепло, онѣ опускаются обратно по стѣнкамъ на дно, гдѣ снова нагрѣваются и т. д. Итакъ, въ нагрѣваемой снизу водѣ возникаетъ теченіе (круговоротъ), которое называютъ **переносомъ теплоты** или **конвекціей**; благодаря этимъ теченіямъ (конвекціи), хотя жидкости и плохіе проводники тепла, **нагрѣваніе ихъ** происходитъ очень быстро.



Фиг. 91.

Центральное водяное отопленіе въ школахъ, театрахъ и т. д. — Подобныя же теченія возникаютъ въ водѣ и въ томъ случаѣ, если охлаждать ее сверху. Сравните съ представленнымъ на фиг. 88 опытомъ и объясните его еще разъ! Какъ происходитъ охлажденіе стоячей воды, (напр. пруда и т. п.), если температура воздуха падаетъ, начиная съ 6° (на 5°, 4°, 3°, 2°, 1°, 0° и ниже)?

55. **Переносъ теплоты (конвекція) въ газахъ.** Обмѣнъ тепла благодаря возникающимъ въ жидкостяхъ **теченіямъ**, т. е. благодаря передвиженію нагрѣтыхъ частицъ самой жидкости, возможенъ благодаря тому, что частицы жидкости легко подвижны. Такъ какъ и частицы газовъ крайне легко подвижны, то нужно ожидать, что и въ нихъ нагрѣваніе легко распространяется путемъ конвекціи. Слѣдующій опытъ подтверждаетъ наше предположеніе.

Поставимъ на столъ небольшую свѣчу, зажжемъ ее и накроемъ ламповымъ стекломъ, установивши послѣднее на двѣ до-

щечки, справа и слѣва около свѣчи положенныя. Свѣча будетъ горѣть внутри ламповаго стекла, а между нимъ и столомъ останутся просвѣты для притока воздуха. Впуская снизу въ стекло немного дыма, или держа надъ верхнимъ отверстіемъ кисть изъ полосокъ тонкой папиросной бумаги, замѣтимъ, что въ стеклѣ происходитъ теченіе воздуха снизу в в е р х ъ.

Если пріоткроемъ дверь, отдѣляющую натопленное помѣщеніе (комнату) отъ холоднаго (передней) такъ, что образуется щель шириной въ руку, то легко обнаружить при помощи пламени свѣчи, что наверху щели теплый воздухъ течетъ въ холодное помѣщеніе, а внизу—холодный воздухъ въ теплое помѣщеніе. Оба опыта показываютъ, что и **въ газахъ** возникаютъ при нагрѣваніи теченія или **конвекція**, распространяющія нагрѣваніе*).

Опишите, какъ идутъ токи воздуха надъ лампой, надъ костромъ! Можетъ ли въ подобныхъ случаяхъ нагрѣтый воздухъ подниматься до большой высоты? Почему нѣтъ? Если надъ пламенемъ устроимъ цилиндрическую трубку, то поднимающійся нагрѣтый воздухъ будетъ охлаждаться медленнѣе. Итакъ, чего мы достигаемъ устройствомъ подобной трубы? Высокія фабричныя трубы для топокъ паровыхъ котловъ; плавильныя печи, ламповыя стекла.

Въ натопленной комнатѣ теплый воздухъ поднимается отъ печки вверхъ, затѣмъ онъ постепенно стекаетъ внизъ. Къ печкѣ же притекаетъ холодный воздухъ, нагрѣвается, подымается и т. д. Изобразите схематически на рисункѣ эти конвекціонныя теченія въ нагрѣтой комнатѣ! — Центральныя — воздушныя отопленія въ школахъ, театрахъ и пр.

Въ природѣ въ большихъ размѣрахъ возникаютъ подобныя воздушныя теченія, называемыя в ѣ т р а м и, въ тѣхъ случаяхъ, когда различныя части земли неодинаково нагрѣты.

56. **Тепловое лучеиспусканіе.** Когда мы стоимъ передъ открытой дверцей натопленной печки, мы замѣчаемъ, что отъ раскаленныхъ внутри углей передается нашему тѣлу палящій жаръ. Особенно сильно мы его чувствуемъ на лицѣ и на рукахъ; очевидно, что доступъ къ другимъ частямъ тѣла преграждаетъ платье. Въ самомъ дѣлѣ, если будемъ держать передъ лицомъ кусокъ картона (экранъ), то жара мы не чувствуемъ. Въ этомъ опытѣ теплота раскаленныхъ углей передается намъ не непосредственнымъ соприкосновеніемъ и не теплопроводностью, а въ формѣ л у ч е й, которые промежуточный воздухъ нагрѣваютъ очень мало. Мы называемъ поэтому этотъ способъ передачи тепла **тепловымъ лучеиспусканіемъ.**

---

*) При распространеніи тепла путемъ т е п л о п р о в о д н о с т и, нагрѣваніе передается въ то время, какъ нагрѣтыя частицы остаются неподвижными; при распространеніи же путемъ к о н в е к ц і и, нагрѣтыя частицы сами передвигаются и переносятъ съ собой тепло къ болѣе холоднымъ частицамъ.

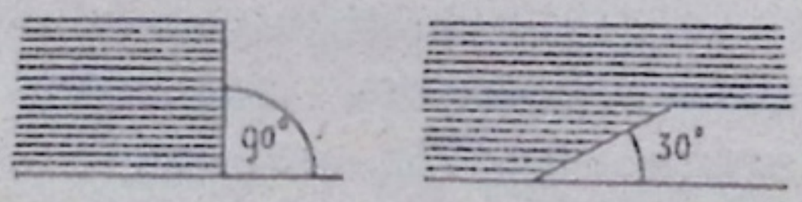
Лучше всего намъ извѣстно лучеиспусканіе солнца. Даже въ холодныя времена года, когда окружающій воздухъ имѣетъ очень низкую температуру, мы ощущаемъ согрѣвающее дѣйствіе солнечныхъ лучей, несущихъ одновременно свѣтъ и тепло. Это ощущеніе тепла тотчасъ исчезаетъ, если мы войдемъ въ тѣнь, или же, если тучи закроютъ солнце. Солнечные лучи тепла распространяются прямолинейно во всѣ стороны и проходятъ при этомъ черезъ безвоздушное пространство, пока они достигнутъ какого нибудь другого тѣла, напр. земли, которое они и нагрѣваютъ. Воздухъ нагрѣвается этими лучами значительно слабѣе, чѣмъ земля; поэтому воздушная оболочка земли нагрѣвается главнымъ образомъ косвенно, соприкасаясь съ нагрѣтой почвой, этимъ отчасти объясняется, что температура воздуха падаетъ при переходѣ къ болѣе высоколежащимъ слоямъ его (снѣговая линія). — На солнцѣ тѣло нагрѣвается тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше солнечныхъ лучей оно поглощаетъ (абсорбируетъ). Наблюденіе и производимые при помощи термоскопа опыты указываютъ, что тѣла съ темной и шероховатой поверхностью поглощаютъ больше тепловыхъ лучей, чѣмъ тѣла со свѣтлой и гладкой поверхностью.

Почему лѣтомъ (и въ жаркихъ странахъ) люди носятъ свѣтлое платье? Почему снѣгъ таетъ подъ темнымъ покровомъ (или же, когда онъ покрытъ пепломъ, уличной грязью и т. п.) скорѣе? Почему повозки, въ которыхъ перевозятъ ледъ, и вагоны, въ которыхъ перевозится пиво и съѣстные продукты, выкрашены въ бѣлую краску?

Тепло испускаютъ не только свѣтящіяся тѣла, какъ солнце, раскаленные угли въ печкѣ, расплавленное желѣзо и т. п., но и горячія и темныя тѣла, какъ напр. натопленная и закрытая кафельная или желѣзная печь, горячій утюгъ и т. д. Оказывается, что тѣла съ темной и шероховатой поверхностью испускаютъ больше тепла, чѣмъ тѣла со свѣтлой и гладкой поверхностью; поэтому желѣзныя печи чернятъ, покрывая слоемъ графита, который въ то же время не даетъ образоваться ржавчинѣ.

Въ какихъ сосудахъ вода дольше останется нагрѣтой, въ темныхъ съ шероховатой поверхностью или же въ блестящихъ и полированныхъ (никкелированныхъ)? Самоваръ. Полированныя мѣдныя трубы, проводящія паръ въ паровыхъ машинахъ. Что выражаетъ такое положеніе: «Тѣла поглощаютъ тепловые лучи тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе они способны ихъ испускать».

Степень нагрѣванія тѣла, на которое падаютъ тепловые лучи, зависитъ не только отъ теплового состоянія испускающаго эти лучи тѣла и отъ свойствъ его поверхности и поверхности нагрѣваемаго тѣла, но также отъ продолжительности дѣйствія лучей и отъ величины угла, подъ которымъ лучи падаютъ на тѣло. Какимъ образомъ эта послѣдняя зависимость можетъ быть выведена изъ разсмотрѣнія фиг. 92.



Фиг. 92.

Почему виноградники располагаются на южныхъ склонахъ холмовъ? Почему шпалерные фрукты у освѣщенныхъ солнцемъ стѣнъ поспѣваютъ скорѣе, чѣмъ на открытомъ мѣстѣ.

57. **Измѣненія состоянія тѣлъ подъ дѣйствіемъ теплоты.** Если нагрѣвать куски льда, помѣщенные въ сосудѣ, они растаютъ и обратятся въ воду: изъ твердаго тѣла образовалось жидкое. Если станемъ нагрѣвать воду дальше, то, наконецъ, она закипитъ и станетъ превращаться въ паръ; изъ жидкаго тѣла тутъ получается газообразное. Если водяной паръ охладить соприкосновеніемъ съ холоднымъ тѣломъ (напр. крышкой или стеклянной пластинкой), то онъ осядетъ на этомъ тѣлѣ въ видѣ капель: газообразное тѣло превратилось въ данномъ случаѣ въ жидкое. Наконецъ, если зимой выставимъ сосудъ съ водой на ночь наружу, то вся вода замерзнетъ: изъ жидкаго тѣла образовалось твердое.

Изъ этихъ опытовъ, къ которымъ можно было бы добавить цѣлый рядъ другихъ подобныхъ имъ, мы узнаемъ слѣдующее: Нагрѣваніемъ можно: *а*) обратить твердое тѣло въ жидкое (плавленіе), *б*) обратить жидкое тѣло въ газообразное (парообразованіе). Наоборотъ, охлажденіемъ можно *в*) обратить газообразное тѣло въ жидкое (ожиженіе), *г*) обратить жидкое тѣло въ твердое (отвердѣваніе). Итакъ, **нагрѣвая или охлаждая тѣло,** мы можемъ перевести его изъ одного состоянія въ другое. Ниже мы разсмотримъ подробнѣе эти превращенія.

Не всѣ тѣла можно перевести нагрѣваніемъ или охлажденіемъ изъ одного состоянія въ любое другое. Такъ, нѣкоторыя твердыя тѣла, какъ напр. дерево, уголь и др. нельзя получить въ расплавленномъ состояніи, нѣкоторыя жидкости, какъ напр. жирныя масла, не удается обратить въ паръ и т. д. Въ этихъ случаяхъ до наступленія предполагаемаго нами измѣненія состоянія тѣла, происходитъ рѣзкое измѣненіе вещества тѣлъ (химическое разложеніе).

58. **Плавленіе.** *а*) Положимъ нѣсколько кусковъ параффина (бѣлое, слегка прозрачное, похожее на воскъ тѣло, которое получается изъ каменноугольнаго дегтя) въ стеклянный сосудъ (широкая пробирка, стаканъ), вставимъ внутрь термометръ и станемъ сосудъ мало-по-малу подогрѣвать на небольшомъ огнѣ. Параффинъ вскорѣ начинаетъ переходить въ жидкое состояніе—**плавится.** Термометръ показываетъ въ этотъ моментъ нѣкоторую **опредѣленную температуру,** приблизительно 46° Ц. Эту температуру, при которой твердое тѣло переходитъ въ жидкое состояніе или плавится, называютъ **температурой плавленія тѣла** (точкой плавленія). Помѣшивая содержимое стакана термометромъ, замѣчаемъ, что онъ показываетъ все время одну и ту же температуру,

пока не расплавится весь парафинъ, хотя **непрерывно сообщается** тепло отъ горѣлки. Только когда весь парафинъ расплавится, температура его при дальнѣйшемъ подогрѣваніи начинаетъ подниматься. Такъ какъ тепло, которое сообщается расплавляемому тѣлу, не въ состояніи его нагрѣть, то оно должно тратиться на что-нибудь другое. Вспомнимъ, что въ твердомъ тѣлѣ частицы крѣпче связаны другъ съ другомъ (сцѣплены), чѣмъ въ жидкомъ; ясно, что нужно преодолѣть это большое сцѣпленіе частицъ для того, чтобы перевести тѣло изъ твердаго состоянія въ жидкое и вотъ на это-то и уходитъ нѣкоторое количество тепла. То количество тепла, которое нужно затратить, чтобы обратить въ жидкое состояніе 1 **кгр** твердаго тѣла, нагрѣтаго предварительно до температуры плавленія, безъ повышенія его температуры, называютъ **теплотой плавленія** даннаго вещества.

Итакъ, нужно различать температуру плавленія (точку плавленія) и теплоту плавленія. Въ слѣдующей табличкѣ приведены величины температуры плавленія и теплоты плавленія нѣкоторыхъ тѣлъ.

	Точка плавленія	Теплота плавленія
ледъ	0° Ц.	80 Калорій
сѣра	111° „	9 „
свинецъ	335° „	5 „
цинкъ	433° „	28 „
серебро	950° „	21 „
чугунъ	1100—1200° „	? „
ковкое желѣзо . . .	1500—1600° „	? „
платина	1750° „	27 „

Что же намъ говорятъ приведенныя числа? Теплоту плавленія льда можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ. Прибавимъ къ 1 **кгр** воды при 80° Ц. 1 **кгр** тающаго снѣга или раздробленнаго льда и хорошенько перемѣшаемъ все термометромъ. Мы получимъ 2 **кгр** воды, имѣющей температуру 0°. Итакъ, чтобы расплавить 1 **кгр** льда затрачено столько же калорій, сколько ихъ нужно для нагрѣванія 1 **кгр** воды отъ 0° до 80° Ц., т. е. теплота плавленія льда равна 80 калоріямъ.

Теплота плавленія льда больше, чѣмъ теплота плавленія любого другого тѣла. Это обстоятельство играетъ также большую роль въ жизни природы. Такъ, если бы теплота плавленія льда была малой, то ледъ и снѣгъ очень быстро таяли бы съ наступленіемъ весны и вызывали бы поэтому опустошительныя наводненія. — На чемъ основано дѣйствіе ледяныхъ компрессовъ?

Почему тающій ледъ способствуетъ сохраненію съѣстныхъ продуктовъ? Почему ледъ или снѣгъ, если взять въ руку, всегда кажется холоднымъ?

б) Растворимъ въ водѣ селитру, или нашатырь, или азотнокислый аммоній (это все — безцвѣтныя, легко растворимыя, похожія на соль тѣла) мы замѣчаемъ по термометру, что температу-

ра раствора понизилась. Итакъ, и для того, чтобы растворить твердыя тѣла, необходимо затратить нѣкоторое количество тепла; оно берется у растворителя и поэтому самъ онъ охлаждается. То количество тепла, которое затрачивается при растворенiи 1 **кгр** твердаго тѣла, носитъ названiе **теплоты растворенiя**. Сравните теплоту растворенiя съ теплотой плавленiя.

Смѣшаемъ три части снѣга съ одной частью поваренной соли и погрузимъ въ эту смѣсь термометръ. Онъ показываетъ приблизительно — 18° Ц. При смѣшенiи снѣга съ солью, снѣгъ сперва таетъ. Для этого нужно большое количество тепла, которое и берется отъ окружающей среды. Такъ какъ въ образовавшейся водѣ тотчасъ же растворяется соль, то смѣсь теряетъ еще больше тепла. (**Охладительныя смѣси**).

Почему, когда идетъ сильный снѣгъ, рельсы трамваевъ посыпаютъ солью? Охладительная смѣсь изъ льда и поваренной соли употребляется и при приготовленiи мороженаго.

59. **Отвердѣваніе**. Если дадимъ медленно застыть расплавленному и нагрѣтому выше 46° Ц. парафину (ср. § 58), то онъ останется жидкимъ, пока его температура не упадетъ до 46° Ц. При этой температурѣ парафинъ начинаетъ переходить въ твердое состоянiе и температура его остается постоянной, пока не отвердѣетъ весь парафинъ: только тогда охлажденiе идетъ дальше. Температуру, при которой жидкость отвердѣваетъ, называемъ ея **температурой отвердѣванiя**. Если затвердѣваніе происходитъ при 0° или болѣе низкой температурѣ, то его также называютъ замерзаніемъ, а его температуру — температурой замерзанiя. Изъ опыта мы узнаемъ, что температура плавленiя и температура затвердѣванiя одного и того же тѣла почти всегда совпадаютъ.

Находится ли тѣло въ твердомъ или жидкомъ состоянiи, зависитъ отъ его температуры; если она выше его температуры плавленiя, то оно — жидко, если ниже —, то тѣло, вообще говоря, будетъ твердымъ (см. ниже!). Есть тѣла, которыя мы знаемъ только въ твердомъ состоянiи и которыя все же при высокихъ температурахъ становятся жидкими. Такъ напр., стекло плавится при нагрѣванiи выше 1000° Ц. и образуетъ тогда вязкую массу. Наоборотъ, ртуть извѣстна намъ по большей части въ жидкомъ состоянiи, но при охлажденiи ниже —39° Ц. она затвердѣваетъ, и ее можно обрабатывать молоткомъ, какъ свинецъ.

Затвердѣвающее тѣло сохраняетъ одну и ту же температуру все время процесса отвердѣванiя, между тѣмъ, какъ мы должны были бы ожидать, что оно будетъ постепенно охлаждаться, такъ какъ непрерывно отдаетъ тепло окружающей сре-

дѣ. Отсюда мы заключаемъ, что во время затвердѣванія въ самомъ тѣлѣ возникаетъ или освобождается нѣкоторое количество тепла. Это количество тепла называютъ **теплотой затвердѣванія.**

Теплота затвердѣванія численно равна теплотѣ плавленія; вода, замерзая и превращаясь въ ледъ, выдѣляетъ на 1 **кгр** при 0° Ц. 80 калорій. Вода обладаетъ наибольшей по сравненію съ другими тѣлами теплотой замерзанія.

Большая величина теплоты замерзанія воды является причиной медленнаго замерзанія стоячихъ водъ; при замерзаніи одной части воды выдѣляется столько тепла, что остальная часть остается жидкой; такъ какъ эта жидкая часть находится подъ плохо-проводящимъ тепло ледянымъ покровомъ, то она лишь медленно теряетъ свое тепло, и такъ-же медленно поэтому увеличивается толщина ледяного слоя. Сравните съ этимъ процессъ, происходящій при таяніи.

Поставимъ въ охладительную смѣсь изъ снѣга и поваренной соли довольно широкую пробирку, наполненную прокипяченной и потому лишенной воздуха водой, и обратимъ вниманіе на то, чтобы вода не подвергалась толчкамъ. Ртуть въ термометрѣ падаетъ (приблизительно на 8 — 10°) ниже нуля, а вода не замерзаетъ; при малѣйшемъ сотрясеніи вода замерзнетъ и ртуть мгновенно поднимется до 0°. Изъ этого опыта видно, что жидкость можетъ существовать, какъ таковая, и при температурѣ ниже своей обыкновенной температуры отвердѣванія. Это явленіе называютъ **переохлажденіемъ** жидкости. Внезапное повышеніе температуры въ моментъ замерзанія ясно намъ показываетъ выдѣленіе теплоты отвердѣванія.

Точка замерзанія растворовъ солей лежитъ ниже точки замерзанія чистаго растворителя. Морская вода замерзаетъ при — 2° Ц. Почему? Почему вода, образующаяся на обледенѣлыхъ солью рельсахъ трамваевъ, (ср. § 58) не замерзаетъ даже тогда, когда температура падаетъ нѣсколько ниже 0°.

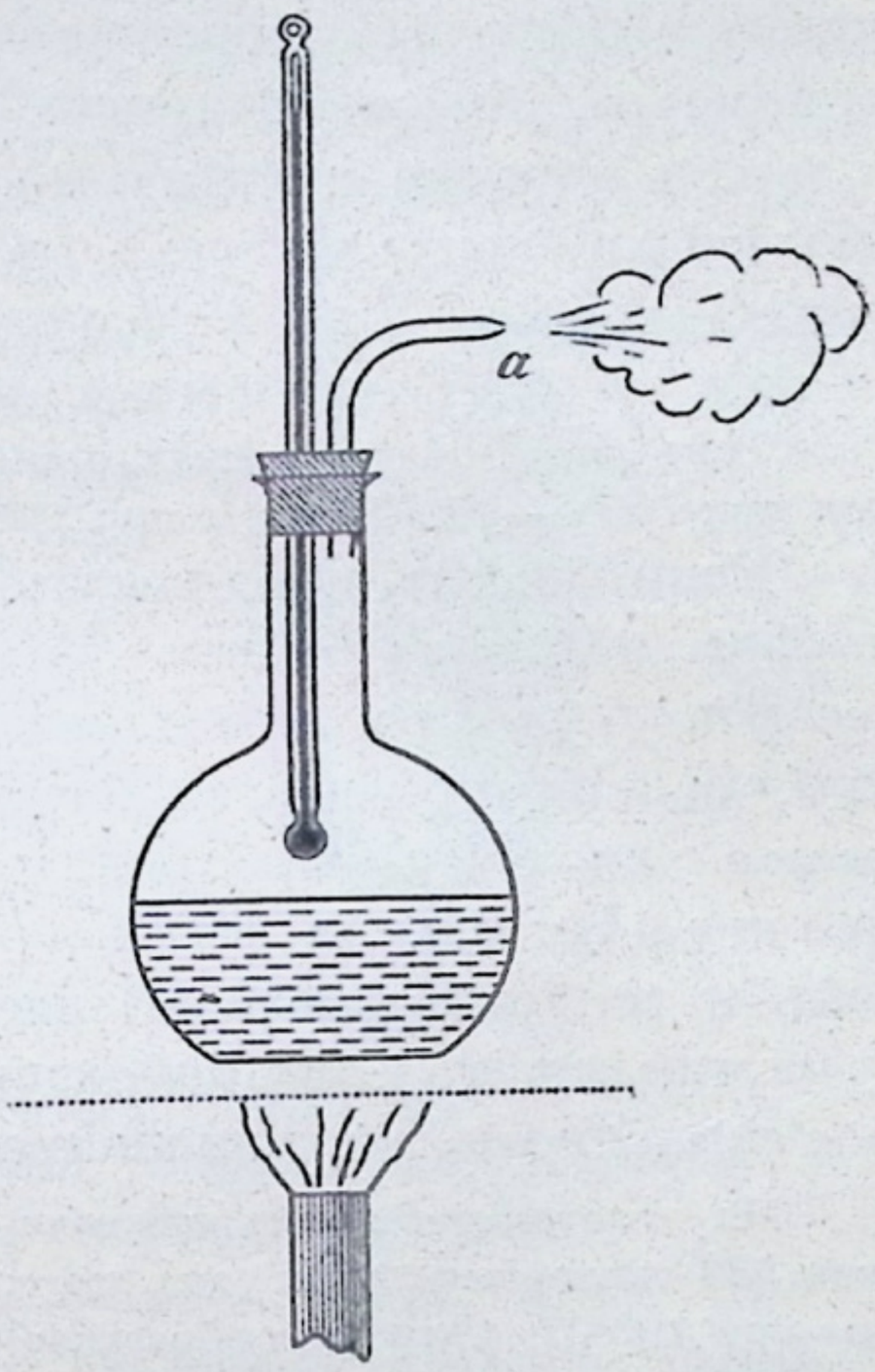
Большинство тѣлъ при плавленіи расширяются, а при отвердѣваніи сжимаются. Исключеніями являются ледъ (§ 50), чугунъ, висмутъ и др.; поэтому твердые куски ихъ плаваютъ на поверхности полученной при плавленіи жидкости.

60. **Кипѣніе.** Наполнимъ тонкостѣнную колбу (фиг. 93) до половины водой, закроемъ ее пробкой, черезъ которую проходитъ термометръ и колѣнообразно согнутая трубка, и станемъ ее нагрѣвать надъ проволочной сѣткой (ср. § 53 фиг. 90). Мы будемъ наблюдать рядъ явленій въ слѣдующей послѣдовательности*): 1. На днѣ и на стѣнкахъ образуются маленькіе, величи-

*) Вначалѣ стекло покрывается снаружи тонкимъ налетомъ изъ мельчайшихъ водяныхъ капелекъ. Это явленіе относится къ области химіи; именно, каждое пламя выдѣляетъ какъ продуктъ горѣнія водяной паръ, который и осаждается на холодной сначала колбѣ. Когда колба становится теплой, этотъ налетъ не можетъ образоваться. Подобное же явленіе будемъ наблюдать, если зажжемъ лампу и надѣнемъ холодное ламповое стекло.

ной въ булавочную головку, пузырьки воздуха, которые затѣмъ поднимаются вверхъ (удаленіе поглощеннаго водой воздуха (ср. § 43) вслѣдствіе нагрѣванія и вызываемаго имъ расширенія).

2. Послѣ продолжительнаго нагрѣванія на днѣ сосуда начинаютъ образовываться большіе пузыри (пузыри пара), которые сперва пристаютъ къ стѣнкамъ, затѣмъ отрываются и поднимаются вверхъ. Если вода недостаточно еще горяча, то пузыри, подымаясь, становятся тѣмъ меньше, чѣмъ ближе они къ поверхности. Въ то время, какъ это происходитъ, мы слышимъ особый шумъ — „вода шумитъ“. 3. Черезъ нѣкоторое время шумъ воды прекращается, пузыри выдѣляются все чаще, поднимаются на поверхность и уходятъ наружу. Вода при этомъ приходитъ въ волнообразное движеніе (бурлитъ), по которому мы и узнаемъ кипѣніе. Въ то-же время изъ трубочки у *a* со свистомъ вырывается струя горячаго, газообразнаго тѣла. Термометръ показываетъ въ нашемъ приборѣ ровно 100° Ц.



Фиг. 93.

Изъ описанныхъ въ пунктѣ 2 и 3 явленій мы узнаемъ слѣдующее: при продолжительномъ нагрѣваніи вода переходитъ въ газообразное состояніе. При кипѣніи жидкость обращается въ паръ не только на поверхности, но и внутри жидкости. При этомъ образуется горячій водяной паръ, имѣющій температуру кипѣнія (**Кипѣніе**). Чтобы образовавшійся паръ могъ выйти изъ жидкости, онъ долженъ преодолѣть давленіе атмосферы на жидкость, т. е. онъ долженъ самъ давить изнутри наружу съ силой по крайней мѣрѣ одной атмосферы (§ 37). Водяной паръ имѣетъ упругость, равную нормальному барометрическому давленію (76 **цт.**) при **100° Ц**; поэтому вода кипитъ при этой температурѣ (температура кипѣнія). При меньшемъ воздушномъ давленіи вода кипитъ при температурѣ ниже 100° Ц., а при большемъ — выше 100° Ц. (§ 61).

Водяной паръ подобно воздуху совершенно невидимъ; поэтому въ нашихъ опытахъ мы и не видимъ пара, ни надъ поверхностью жидкости, ни тамъ, гдѣ онъ выходитъ изъ трубки (у *a*).

Если продѣлаемъ тотъ же опытъ съ другими жидкостями, то будемъ наблюдать совершенно похожій ходъ явленій, только термометръ покажетъ другую температуру. **Точка кипѣнія**, т. е. температура, при которой жидкость кипитъ при обыкновенныхъ условіяхъ (подъ нормальнымъ давленіемъ атмосферы въ 76 **цт** ртутнаго столба), различна у различныхъ жидкостей.

Такъ напр., эфиръ кипитъ при 35° Ц, спиртъ при 78° Ц, очищенный керосинъ при 150° — 170° Ц, вода при 100° Ц, ртуть при 360° Ц.

Если будемъ продолжать нагрѣваніе воды въ нашемъ сосудѣ (фиг. 93), вода будетъ все время кипѣть, но термометръ будетъ неизмѣнно указывать 100° Ц. Теплота, которую сообщаемъ кипящей водѣ, не повышаетъ ея температуры, но расходуется на превращеніе воды въ паръ (**теплота парообразованія**). Она (какъ и теплота плавленія) идетъ на преодолѣніе сцѣпленія между частицами, т. к. газообразный водяной паръ уже обладаетъ не сцѣпленіемъ, а стремленіемъ расширяться (ср. § 22).

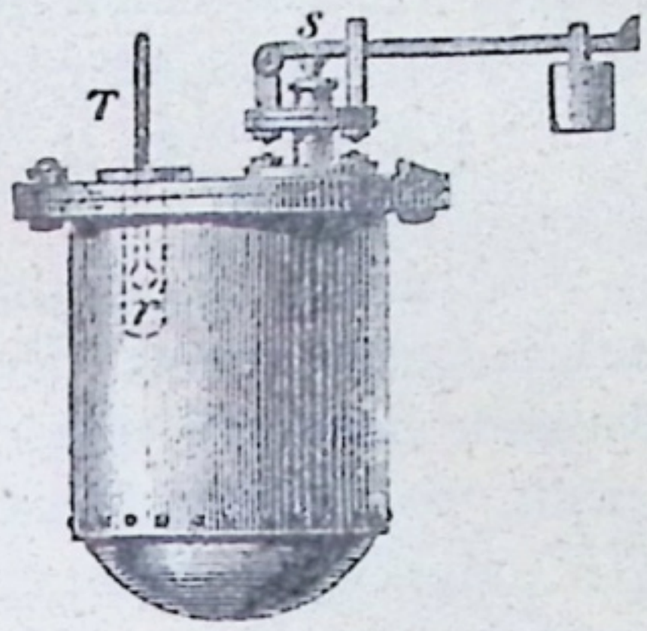
На основаніи точныхъ опытовъ найдено, что теплота парообразованія воды равна 536 калоріямъ, т. е. для того, чтобы получить изъ 1 **кгр** (еще жидкой) воды при 100° Ц. 1 **kгр** (газообразнаго) водяного пара при 100° Ц., нужно сообщить водѣ количество тепла, равное 536 калоріямъ. Теплота парообразованія другихъ жидкостей меньше теплоты парообразованія воды.

61. **Зависимость температуры кипѣнія отъ внѣшняго давленія.** *a*) Часто наблюдали, что на вершинахъ горъ вода кипитъ при температурѣ ниже 100° Ц; такъ, на Монбланѣ (4180 **м.**) вода кипитъ при 84° Ц., на вершинѣ Сенъ-Бернара (2500 **м.**) при 92° Ц. и т. д. Объясненіе этому мы находимъ въ извѣстномъ уже намъ фактѣ (§ 38), что на вершинахъ горъ давленіе атмосферы меньше, чѣмъ внизу. Если жидкость переходитъ въ газообразное состояніе, то при этомъ приходится преодолѣвать не только внутреннее сцѣпленіе частицъ, но и внѣшнее давленіе атмосферы на жидкость (§§ 36 и 37). Если оно меньше нормальнаго (76 **цт**), то кипѣніе происходитъ при температурѣ ниже 100° Ц.

Въ описанномъ на стр. 77 (фиг. 93) опытѣ, удалимъ на нѣкоторое время пламя и дадимъ прибору остыть; если затѣмъ надѣнемъ на трубку *a* резиновую трубку, идущую отъ воздушнаго насоса и приведемъ послѣдній въ дѣйствіе, то вода тотчасъ снова закипитъ и главнымъ образомъ на поверхности. Температура воды при этомъ, какъ показываетъ термометръ, непрерывно падаетъ; чѣмъ

ниже она, тѣмъ больше требуется разрѣженіе, чтобы кипѣніе продолжалось. — Почему для этого опыта мы должны брать толстостѣнную колбу?

б). Если наружное давленіе на жидкость будетъ больше нормальнаго (76 цт.), то кипѣніе произойдетъ при температурѣ выше 100° Ц. Это можно доказать на такъ называемомъ Папиновомъ котлѣ (фиг. 94). Это — толстостѣнный металлическій котелъ, плотно (герметически) закрытый крышкой, въ которую впаяна металлическая пробирка со ртутью (*r*), въ которую опускается термометръ *T* для измѣренія температуры кипѣнія жидкости. Крышка снабжена кромѣ того такъ называемымъ предохранительнымъ клапаномъ *S*, который при сильномъ давленіи пара открывается и выпускаетъ часть пара. Если въ этомъ котлѣ нагрѣемъ воду до кипѣнія, то температура, указываемая термометромъ, будетъ выше 100° Ц.



Фиг. 94.

При помощи этого прибора, который называютъ также дигесторомъ, если онъ имѣетъ большіе размѣры, можно быстро разварить мясо, картофель и т. п.; въ немъ можно совершенно разварить даже кости, рогъ, дерево.

в) На основаніи разсмотрѣнныхъ нами явленій, приходимъ къ слѣдующему закону, выражающему **зависимость между температурой кипѣнія и внѣшнимъ давленіемъ:** Температура кипѣнія зависитъ не только отъ рода жидкости, но также и отъ величины наружнаго давленія; она повышается съ увеличеніемъ давленія и падаетъ при уменьшеніи давленія.

На высокихъ горахъ не удается разварить мясо въ обыкновенныхъ горшкахъ. Какимъ приспособленіемъ приходится тамъ пользоваться съ этой цѣлью? — Высоту горъ можно опредѣлять также и при помощи термометра. Какимъ образомъ?

62. **Испареніе.** *а*) Наблюдая, что влажное бѣлье сохнетъ на воздухѣ, что вода, находящаяся долгое время въ открытомъ сосудѣ, постепенно исчезаетъ, мы приходимъ къ заключенію, что и при обыкновенной температурѣ вода можетъ переходить въ газообразное состояніе. Мы называемъ это явленіе **испареніемъ.** Мы замѣчаемъ далѣе, что въ теплые дни или же въ натопленномъ помѣщеніи бѣлье сохнетъ гораздо скорѣе, чѣмъ при низкой температурѣ. Однако, даже и при 0° обледенѣвшее бѣлье, хотя и медленно, все же высы-

хаетъ; слѣдовательно, даже ледъ можетъ испаряться. Мы знаемъ кромѣ того, что для просушки бѣлье необходимо растянуть (развѣсить), что въ замкнутыхъ помѣщеніяхъ, (напр. въ ящикѣ) бѣлье совсѣмъ не сохнетъ, а въ провѣтриваемыхъ помѣщеніяхъ (на открытомъ воздухѣ, на плоскихъ крышахъ или же провѣтриваемыхъ чердакахъ) и особенно при сильномъ токѣ воздуха или привѣтрѣ оно просыхаетъ очень быстро. Изъ этихъ и имъ подобныхъ явленій узнаемъ, что испареніе усиливается при нагрѣваніи, съ увеличеніемъ поверхности и при удаленіи паровъ путемъ обмѣна воздуха.

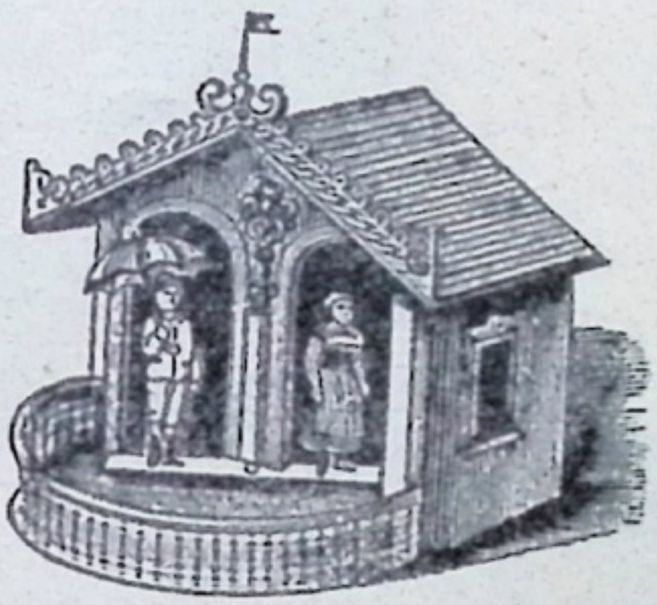
Эти законы дѣйствительны не только для воды, но и для всѣхъ жидкостей. Если, напр., нальемъ на листки пропускной бумаги по 1 $цт^3$ воды, спирта и эфира и подвѣсимъ ихъ въ комнатѣ, то черезъ нѣкоторое время всѣ три листка будутъ сухими. По запаху, распространившемуся по комнатѣ, мы узнаемъ, что и спиртъ, и эфиръ обратились въ газообразное состояніе. Время, которое нужно для того, чтобы полностью испарилась каждая изъ взятыхъ жидкостей, различно: эфиръ испаряется скорѣе всего, вода — наиболѣе медленно. Итакъ, испареніе зависитъ также и отъ особенностей вещества жидкости.

Почему свѣже-скошенную траву разбрасываютъ для просушки? Какое вліяніе оказываетъ на нее солнечное тепло? Почему чернила засыхаютъ въ чернильницѣ, если мы оставимъ ее открытой, и не засыхаютъ, если плотно ее закроемъ? Какимъ образомъ можно задержать испареніе? Въ градирняхъ (гдѣ добываютъ изъ морской воды поваренную соль) ненасыщенный растворъ соли заставляютъ медленно просачиваться черезъ стѣнку изъ хвороста и прутьевъ, чтобы сгустить растворъ. Какъ это объяснить? Какъ получается изъ морской воды поваренная соль? Почему влажная почва просыхаетъ при вѣтрѣ скорѣе? Почему классная доска высыхаетъ послѣ того, какъ мы провели по ней влажной губкой? Почему свѣже исписанную страницу мы держимъ иной разъ надъ лампой или же дуемъ на нее, или машемъ ею въ воздухѣ, желая ее осушить? Почему нужно хорошо закрывать бутылки со спиртомъ или бензиномъ? — Откуда мы узнаемъ, что и ледъ испаряется? Существуютъ еще другія твердыя тѣла (напр. іодъ, камфора, мускусъ и др.), которыя также испаряются (улетучиваются).

б) Смочимъ палецъ и станемъ имъ быстро двигать въ воздухѣ. Онъ скоро высыхаетъ, и мы ощущаемъ въ немъ холодъ. Нальемъ на руку нѣсколько капель бензина или эфира. Жидкость быстро испаряется и въ то же время мы ощущаемъ холодъ. Обернемъ шарикъ термометра ватой или кисеей и смочимъ ее эфиромъ. Во время испаренія эфира ртуть опускается на нѣсколько градусовъ.

Итакъ, при испареніи, какъ и при кипѣніи, затрачивается тепло. Оно идетъ на то, чтобы раздвинуть частицы настолько далеко другъ отъ друга, чтобы исчезло сцѣпленіе между ними. Поэтому мы ощущаемъ охлажденіе при испареніи.

Почему намъ становится холодно, когда мы выходимъ изъ ванны? Почему воздухъ въ комнатѣ охлаждается, если побрызгать на полъ водой? Какъ объяснить свѣжесть воздуха, которую мы чувствуемъ послѣ дождя? Какимъ образомъ можно легко узнать направленіе вѣтра, держа въ воздухѣ влажный палецъ? Если прольемъ на полъ въ комнатѣ воду, то она высохнетъ скорѣе, если разотремъ ее по всему полу. Почему? Исчезаетъ ли съ пола жирное пятно? Что отсюда слѣдуетъ? Почему мы не получимъ ощущенія холода, если погрузимъ палецъ не въ воду, а въ масло, и затѣмъ станемъ имъ двигать въ воздухѣ? Почему лѣтомъ можно сохранять напитки прохладными или не дать растаять маслу, если обернуть сосуды, въ которыхъ они находятся, влажной матеріей? Чтобы охладить питевую воду, въ жаркихъ странахъ ее сохраняютъ въ пористыхъ глиняныхъ сосудахъ. Объясните, въ чемъ тутъ дѣло? Если положимъ часовое стекло на дощечку, смоченную передъ тѣмъ нѣсколькими каплями воды, нальемъ затѣмъ въ стекло немного эфира и, дуя кузнечнымъ мѣхомъ, заставимъ эфиръ быстро испариться, то часовое стекло примерзнетъ къ дощечкѣ. Почему? Такимъ же образомъ при помощи быстро испаряющихся жидкостей (напр. жидкаго амміака) замораживаютъ воду въ машинахъ для приготовленія льда (искусственный ледъ) Такъ какъ больше двухъ третей земной поверхности покрыты водой и болѣе обширныя моря лежатъ въ жаркомъ поясѣ, то огромныя количества водяного пара постоянно подымаются въ атмосферу. Поэтому атмосферный воздухъ никогда не можетъ быть совершенно сухимъ. Степень **влажности воздуха** различна въ разное время и въ разныхъ мѣстахъ. Поэтому говорятъ: «влажный воздухъ», «сухой воздухъ». О влажности можно судить по дѣйствію ея на нѣкоторыя тѣла. Такъ напримѣръ, изготовленныя изъ кишекъ струны легко вбираютъ влагу изъ воздуха и при этомъ скручиваются тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше влажность воздуха. На этомъ основано устройство домика, предсказывающаго погоду (фиг. 95). Въ немъ имѣется струна, скручивающаяся съ увеличеніемъ влажности. При этомъ поворачивается легкая палочка, на концахъ которой укрѣплены двѣ фигурки, изъ которыхъ одна держитъ раскрытый зонтикъ. Палочка такъ прикрѣплена къ струнѣ, что съ увеличеніемъ влажности выходитъ фигура съ зонтикомъ.

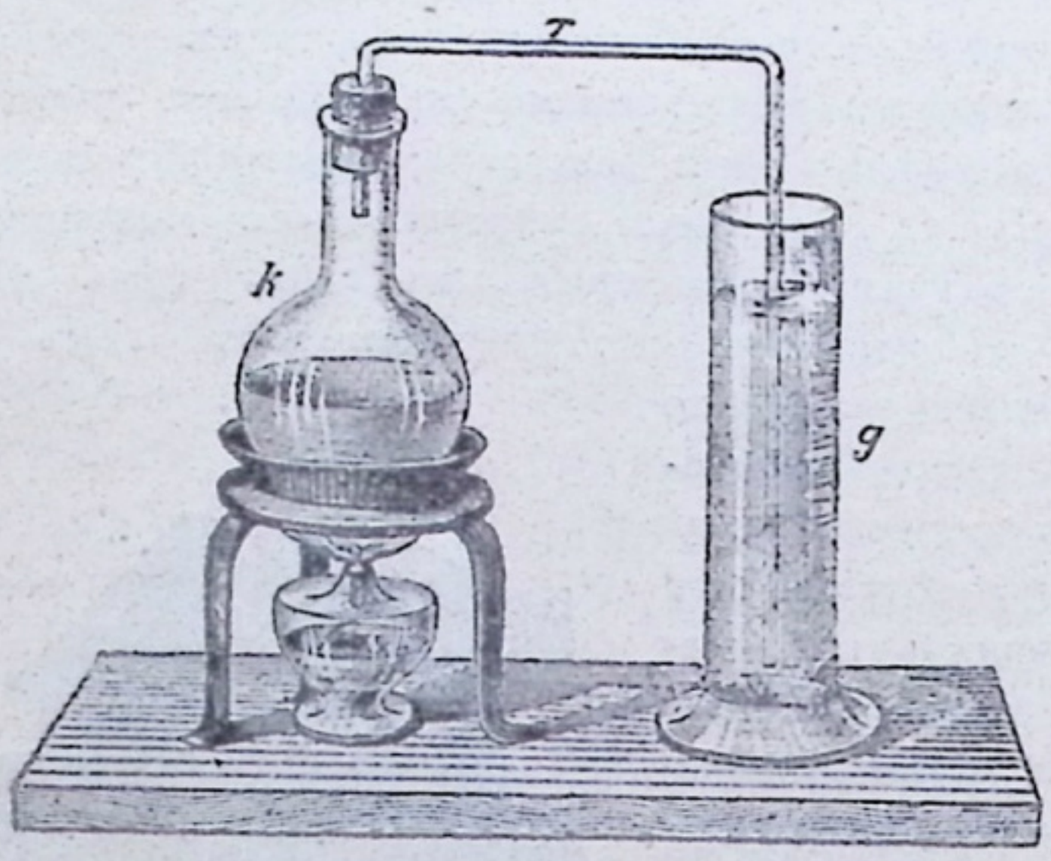


Фиг. 95.

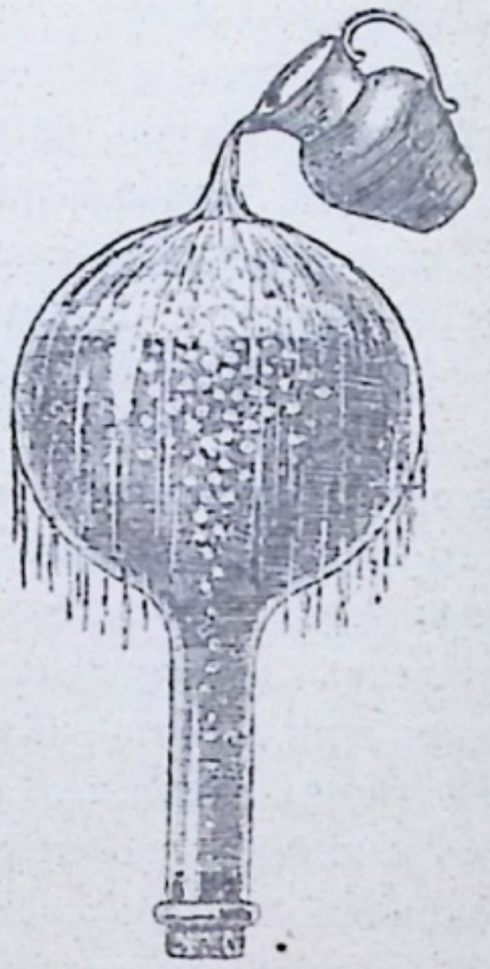
в) Испареніе происходитъ при всякой температурѣ и лишь съ поверхности жидкости, кипѣніе же происходитъ только при опредѣленной температурѣ и во всей массѣ жидкости. И тотъ и другой процессъ требуютъ для перехода тѣла изъ одного состоянія въ другое (для преодолѣнія сцѣпленія частицъ въ жидкости) притока тепла. Затраченное тепло при кипѣніи мы называли тепло-

той парообразованія, при испареніи его можно было бы называть теплотой испаренія. Послѣдняя берется часто изъ окружающей среды и тогда можно наблюдать охлажденіе при испареніи. При кипѣніи все притекающее тепло идетъ на преодолѣніе сцѣпленія, при испареніи — только часть его; другая часть повышаетъ температуру испаряющейся жидкости. (Быстрое испареніе воды, если нагрѣвать ее ниже точки кипѣнія)

63. **Конденсація.** Кипятимъ воду въ колбѣ *k* (фиг. 96) и проводимъ паръ по трубкѣ *T* въ сосудъ *g*, наполненный холодной водой. Паръ исчезаетъ въ водѣ сосуда *g* и въ то же



Фиг. 96.



Фиг. 97.

время слышимъ шумъ, похожій на шипѣніе при кипѣніи; при этомъ количество воды въ сосудѣ *g* увеличивается и она нагрѣвается. Если проведемъ трубку не въ сосудъ *g*, а въ плавающую въ немъ пустую пробирку, то въ ней вскорѣ соберется вода. Слѣдовательно, водяной паръ при охлажденіи переходитъ въ жидкое состояніе. При **конденсаціи** (**ожиженіи**) паровъ выдѣляется тепло (**теплота конденсаціи**).

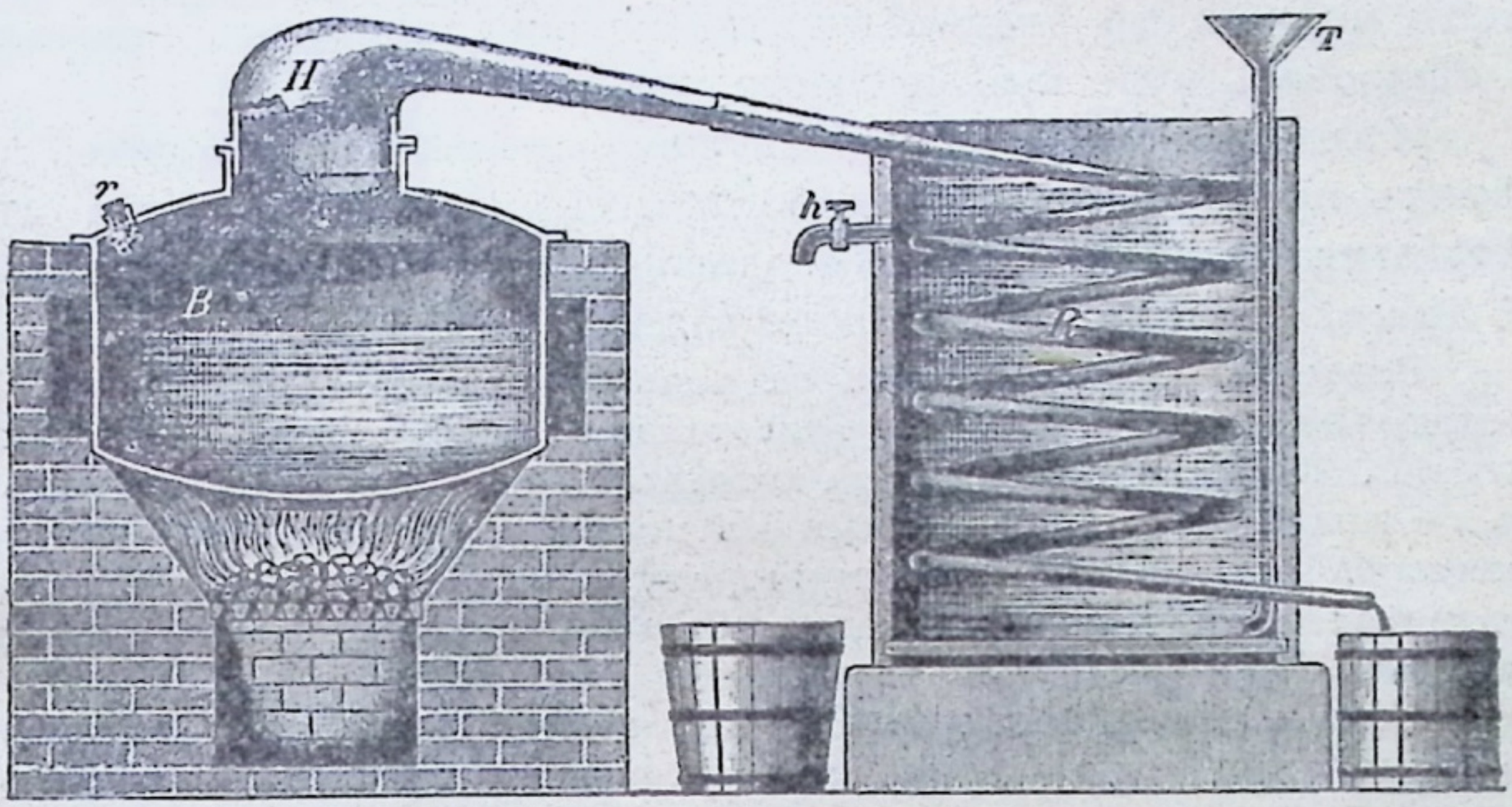
Сравните теплоту отвердѣванія съ теплотой конденсаціи.

Пользуясь конденсаціей пара можно произвести опытъ, показывающій, что температура кипѣнія понижается съ уменьшеніемъ наружнаго давленія (§ 61). Для этого наполнимъ водой до половины стеклянную колбу и будемъ кипятить въ ней воду, оставивъ ее открытой до тѣхъ поръ, пока пары не вытѣснятъ весь находящійся надъ водой воздухъ. Теперь прекратимъ нагрѣваніе, быстро закроемъ плотно колбу пробкой, опрокинемъ ее горлышкомъ внизъ и дадимъ водѣ немного остыть. Надъ водой теперь находится только водяной паръ. Станемъ лить сверху холодную

воду (см. фиг. 97). Паръ сгустится въ воду, и надъ водой окажется почти безвоздушное пространство. Поэтому на воду производится лишь очень малое давленіе, и она начинаетъ кипѣть. При этомъ надъ водой снова собирается паръ, давленіе увеличивается, и кипѣніе прекращается. Снова поливъ колбу холодной водой, можемъ еще заставить кипѣть воду въ колбѣ и т. д.

На конденсаціи паровъ основана **перегонка** или **дистилляція** жидкостей. Мы говоримъ, что вода, спиртъ и т. п. перегоняются, если мы ихъ превращаемъ въ особо-устроенномъ приборѣ (перегонный кубъ) сперва въ паръ, а затѣмъ его охлаждаемъ, такъ что онъ снова переходитъ въ жидкое состояніе.

Перегонный кубъ (фиг. 98), употребляемый для перегонки воды, состоитъ изъ мѣднаго, луженнаго внутри котла *B*, закрытаго оловяннымъ «шлемомъ» *H* и змѣевика *R*, находящагося въ холодильникѣ, наполненомъ холодной водой. Въ крышкѣ перегоннаго куба сбоку находится еще отверстіе *r*,



Фиг. 98.

плотно закрываемое. Въ холодильный чанъ вставлена воронка *T* съ трубкой доходящей почти до дна; черезъ воронку можно приливать воду, а черезъ трубку съ краномъ *h*, придѣланную вверху, можно выпускать нагрѣвшуюся воду. Наполнивъ кубъ водой, его нагрѣваютъ, и вода начинаетъ кипѣть. Образующіеся пары проходятъ въ змѣевикъ, тутъ охлаждаются, отдавая свое тепло водѣ, окружающей змѣевикъ, и переходятъ въ жидкое состояніе. Дистиллированная вода стекаетъ въ подставленный сосудъ. Холодная вода въ чанѣ постепенно нагрѣвается, подымается вверхъ и можетъ быть спущена черезъ открытый кранъ *h*, вмѣсто нея черезъ воронку *T* снова приливается холодная вода. Если мы перегнали уже значительную часть воды, то черезъ отверстіе *r* снова наполняемъ кубъ. — Какъ можно раздѣлить на составныя части смѣсь изъ спирта и воды? Получимъ ли мы полное раздѣленіе? Почему нѣтъ?

Если проведемъ по металлическимъ трубамъ водяной паръ черезъ разныя помѣщенія, напр. жилыя комнаты, классы и т. п., то паръ отдастъ свое тепло воздуху этихъ помѣщеній (паровое отопленіе). Паровое отопленіе чаще всего примѣняется въ театрахъ, затѣмъ въ вагонахъ желѣзныхъ дорогъ.

64. **Атмосферные осадки.** Въ опытѣ, представленномъ на фиг. 93, невидимый водяной паръ, выходящій изъ колбы, на нѣкоторомъ разстояніи отъ отводной трубки превращается въ туманъ. Вслѣдствіе охлажденія паръ сгущается въ крошечныя капельки воды, совокупность которыхъ и представляется намъ въ видѣ тумана. Подобный же туманъ образуется, если въ морозный день откроемъ окно въ натопленной комнатѣ. Притекающій (внизъ) холодный воздухъ сгущаетъ невидимый водяной паръ, находящійся въ комнатѣ. При закрытыхъ окнахъ этотъ паръ сгущается на холодныхъ оконныхъ стеклахъ и образуетъ налетъ изъ водяныхъ капелекъ; иногда его бываетъ настолько много, что вода буквально стекаетъ съ оконъ; если на дворѣ морозъ, то водяной налетъ на окнахъ можетъ замерзнуть и образовать чудесные снѣжные узоры.

Подобныя же явленія ожиженія паровъ въ большихъ размѣрахъ происходятъ въ природѣ; ихъ называютъ тогда **атмосферными осадками**; сюда принадлежатъ: роса, иней, туманъ, облака, дождь, снѣгъ, градъ.

Растенія, камни и почва за ночь значительно остываютъ. При достаточной влажности воздуха охладившіяся тѣла покрываются росой. (Сравните налетъ на окнахъ; точно такъ же стаканъ съ холодной водой, внесенный въ комнату, покрывается налетомъ водяныхъ капелекъ). Если температура падаетъ ниже 0^0, роса замерзаетъ; она называется тогда инеемъ. (Сравните со снѣжными узорами, образующимися на оконномъ стеклѣ).

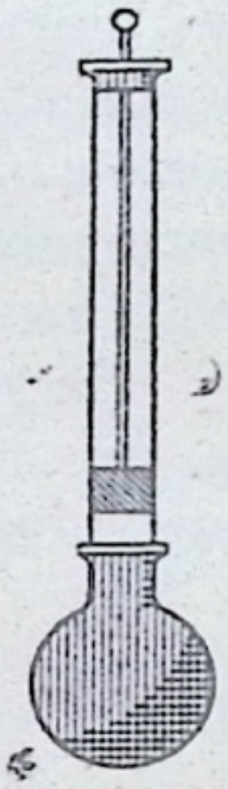
Если влажный воздухъ подвергается гдѣ нибудь охлажденію, то заключающійся въ немъ паръ ожижается въ массу крошечныхъ водяныхъ капелекъ, которыя въ массѣ представляются намъ въ видѣ тумана, если онѣ находятся близко земной поверхности, или въ видѣ облака, если онѣ образовались въ выше лежащихъ слояхъ атмосферы. (Какія формы облаковъ вы наблюдали?)

При дальнѣйшемъ охлажденіи изъ маленькихъ капелекъ тумана образуются большія водяныя капли и въ видѣ дождя падаютъ на землю. При низкой температурѣ изъ нихъ могутъ получиться маленькіе кристаллы льда, которые образуютъ снѣгъ. Образованіе града до сихъ поръ еще не вполнѣ выяснено.

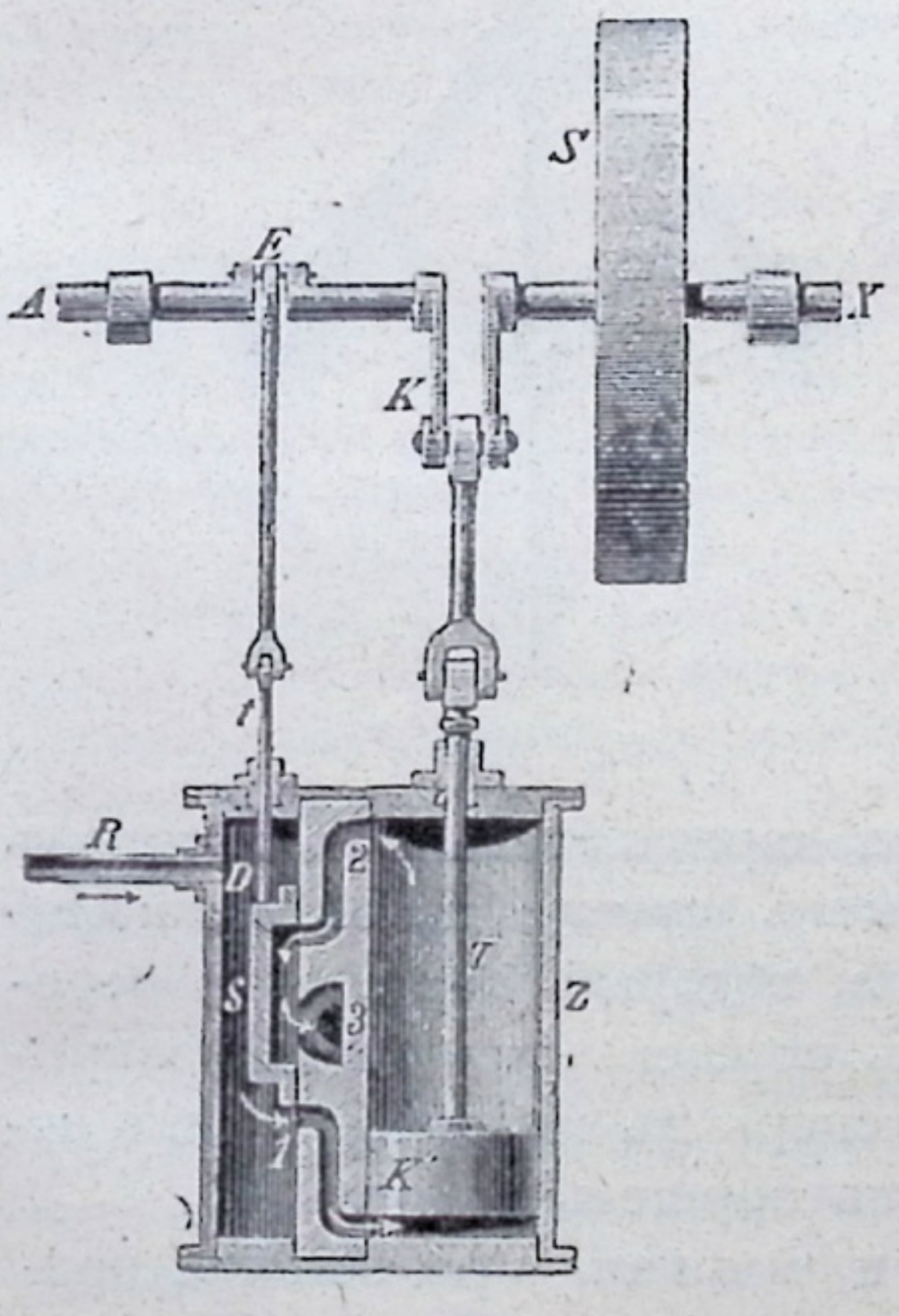
Задачи. 1. Сколько калорій нужно затратить, чтобы обратить 6 **кгр** льда при 0^0 *a*) въ воду при 0^0 Ц, *b*) въ воду при $+64^0$ Ц? — **2.** Сколько калорій нужно, чтобы растопить 1 $м^3$ льда при 0^0 Ц? (Удѣльный вѣсъ льда = 0,92 вѣсовымъ единицамъ) — **3.** Желаютъ охладить 52 **кгр** воды, взятой при $+80^0$ Ц до $+50^0$ Ц льдомъ, имѣющимъ температуру 0^0 Ц. Сколько нужно взять для этого льда? — **4.** Сколько льда при 0^0 Ц нужно взять, чтобы охладить до 0^0 3,2 **кгр** воды при $+100^0$ Ц? — **5.** Какая температура получится въ смѣси изъ 15 **кгр** воды при $+22^0$ Ц и 3 **кгр** снѣга при 0^0 Ц. — **6.** Сколько калорій нужно затратить, чтобы обратить въ паръ 1 **кгр** воды при 100^0 Ц? Сколько **кгр** воды можно было бы на-

грѣть этимъ количествомъ тепла отъ 0° до температуры кипѣнія? — **7.** Какое получится количество тепла, если обратимъ въ жидкое состотніе 3 **кгр** водяного пара, взятаго при 100° Ц, и охладимъ его, пока вода не замерзнетъ? — **8.** До какой температуры нагрѣется 16 **кгр** воды при + 6° Ц, если черезъ нихъ пропустимъ 2 **кгр** водяного пара при + 100° Ц. — **9.** Сколько **кгр** холодной воды при + 11° Ц нужно взять для ожиженія 5 **кгр** водяного пара, имѣющаго + 100° Ц, если вода нагрѣется при этомъ процессѣ до + 61° Ц? — **10.** 900 **гр** воды при + 6° Ц нагрѣты до 36° при помощи 45 **гр** водяного пара при + 100° Ц. Вычислите по этимъ даннымъ теплоту парообразованія воды.

65. **Паровая машина.** Къ полому металлическому шару (фиг. 99) придѣлана толстостѣнная стеклянная трубка, въ которой ходитъ плотно прилегающій къ стѣнкамъ поршень. Въ шаръ налита вода; мы подогрѣваемъ ее до кипѣнія. Когда образуется достаточное количество пара, поршень съ большой силой отодвигается вверхъ. Изъ этого опыта видно, что водяной паръ можетъ произвести механическую работу (поднятіе поршня). Водяной паръ подобно всѣмъ газамъ (стремится расшириться и поэтому производитъ давленіе (**упругость пара**) на стѣнки заключающаго его сосуда. Давленіе увеличивается съ повышеніемъ температуры. Вслѣдствіе этого давленія и поднимается поршень. На томъ же основано устройство **паровой машины.**



Фиг. 99.



Фиг. 100.

Паръ, нужный для приведенія въ дѣйствіе паровой машины, получаютъ въ особыхъ закрытыхъ желѣзныхъ котлахъ (паровыхъ котлахъ).

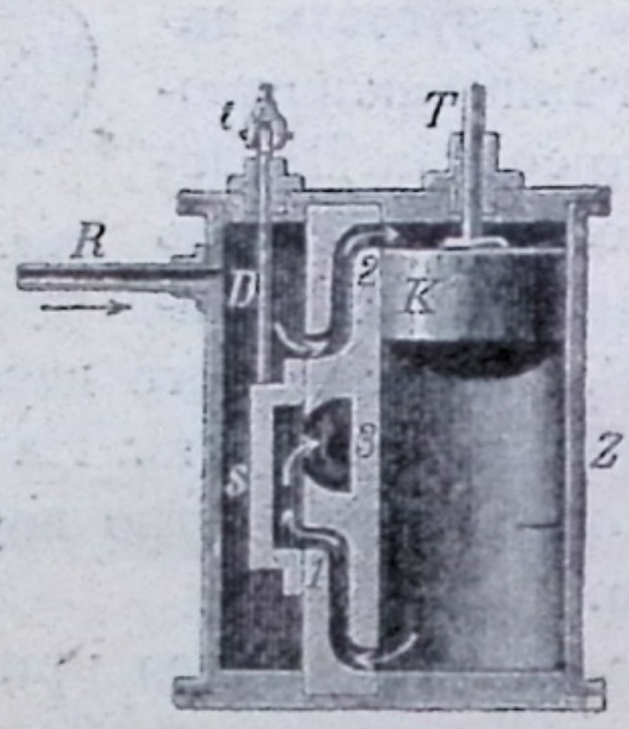
Паровой котелъ похожъ на Папиновъ котелъ (фиг. 94 на стр. 79) въ томъ отношеніи, что въ немъ температура кипѣнія воды выше + 100° Ц, вслѣдствіе высокаго давленія на нагрѣваемую воду. Такъ, если упругость пара въ котлѣ равна 2, 3, 4, 5... 10 атмосферамъ, то температура кипящей воды соотвѣтственно равна 120°, 135°, 145°, 152°... 182° Ц.

Изъ котла, снабженнаго предохранительнымъ клапаномъ (фиг. 94 на стр. 79), водоуказательнымъ стекломъ, манометромъ для измѣренія упругости па-

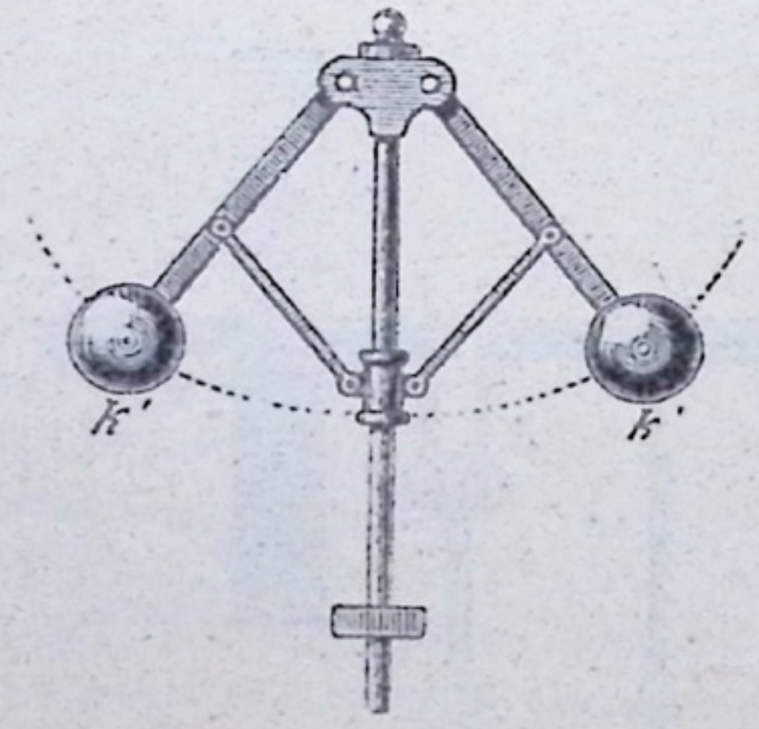
ра и т. д., паръ поступаетъ по трубѣ *R* (фиг. 100) въ паровую коробку *D*. Главными частями паровой машины являются: 1) паровой цилиндръ съ поршнемъ, 2) золотникъ, 3) маховое колесо.

Z—паровой цилиндръ, въ которомъ движется вверхъ и внизъ плотно пригнанный поршень *K'*, укрѣпленный на поршневой штангѣ (штокъ) *T*. *D*—паровая коробка, въ которую поступаетъ паръ по трубѣ *R*; въ ней движется вверхъ и внизъ золотникъ *s*, стержень котораго *t* скрѣпленъ съ такъ называемымъ кривошипомъ (эксцентрикомъ) *E*. *A X* представляетъ прочный желѣзный валъ, на который насажено маховое колесо *S*; у *E* находится кривошипъ для передачи движенія золотнику, а у *K*—кривошипъ для передачи движенія поршня валу и маховому колесу.

На нашемъ рисункѣ золотникъ *S* занимаетъ такое положеніе, что паръ, поступающій по трубкѣ *R*, входитъ въ паровой цилиндръ черезъ каналъ *1* и движетъ поршень вверхъ. Находя-



Фиг. 101.



Фиг 102.

щійся надъ поршнемъ паръ уходитъ черезъ каналъ *2*, а затѣмъ отверстіе *3*. Когда поршень достигнетъ своего наивысшаго положенія (фиг. 101), то золотникъ *s*, который постепенно передвигался внизъ въ то время, какъ поршень поднимался, закрываетъ каналъ *1*; паръ поступаетъ теперь въ цилиндръ *Z* изъ коробки *D* черезъ каналъ *2* и толкаетъ поршень внизъ.

Движеніе поршня вверхъ и внизъ при помощи кривошипа *K* превращается во вращательное. Массивное маховое колесо *S* благодаря своей большой инерціи придаетъ движенію большую равномѣрность; оно, слѣдовательно, нѣкоторымъ образомъ регулируетъ движеніе.

На оси *A X* часто находится также зубчатое колесо, которое приводитъ въ движеніе центробѣжный регуляторъ. Онъ (фиг. 102) состоитъ

изъ двухъ массивныхъ желѣзныхъ шаровъ k' и k'', соединенныхъ на шарнирахъ съ вертикальной осью; при быстромъ движеніи оси шары расходятся тѣмъ больше, чѣмъ скорѣе вращается ось; при этомъ они приподымаютъ охватывающую ось втулку и, дѣйствуя посредствомъ ея на особый клапанъ, поставленный на трубѣ, приводящей паръ, регулируютъ притокъ его и способствуютъ такимъ образомъ равномѣрному ходу машины.

Сила паровой машины передается при помощи зубчатыхъ колесъ, ремней и иныхъ приспособленій (всѣ они называются трансмиссіями) рабочимъ машинамъ (молоты, пилы, сверлильныя машины, токарные станки и т. п.).

Паровыя машины дѣлятся на неподвижныя и подвижныя (локомобили, локомотивы, машины на пароходахъ).

Локомотивъ отличается отъ неподвижной паровой машины тѣмъ, что имѣетъ два паровыхъ цилиндра, укрѣпленныхъ по обѣ стороны парового котла, стоящаго на колесахъ. Движеніе поршней передается помощью кривошиповъ двумъ ведущимъ колесамъ, при этомъ оба кривошипа все время остаются взаимно перпендикулярны; благодаря тренію о рельсы ведущихъ колесъ послѣдніе, вращаясь, двигаютъ локомотивъ. Чтобы достичь въ котлѣ локомотива возможно быстраго и обильнаго образованія пара, черезъ котелъ проводятъ параллельно его оси рядъ трубъ, черезъ которыя проходятъ горячіе газы, получающіеся при сжиганіи топлива; затѣмъ газы смѣшиваются съ отработаннымъ паромъ и выходятъ наружу черезъ трубу. Къ каждому локомотиву присоединяется вагонъ (тендеръ), содержащій топливо и воду, которая особыми насосами перекачивается по мѣрѣ надобности въ котелъ.

На пароходахъ паровая машина устанавливается внутри судна. Поступательное движеніе послѣдняго достигается или при помощи двухъ снабженныхъ лопастями колесъ, которыя укрѣплены на валу машины (колесные пароходы), или же при помощи винта, (пропелеръ) помѣщающагося параллельно оси парохода въ задней его части подъ водой (винтовые пароходы). Пароходныя машины имѣютъ подобно локомотивамъ два (иной разъ даже три) паровыхъ цилиндра.

Такъ какъ инерція движущагося тяжелаго поѣзда или парохода, въ соединеніи съ дѣйствіемъ попеременно двухъ кривошиповъ, уравниваетъ неравномѣрность движенія, то въ этихъ случаяхъ можно обойтись безъ маховыхъ колесъ.

Локомобилями называютъ небольшія, легко подвижныя паровыя машины, служащія для приведенія въ дѣйствіе земледѣльческихъ машинъ (молотилокъ и т. п.), паровыхъ пожарныхъ насосовъ и т. п.; они употребляются также при постройкахъ.

На основаніи опытовъ, производившихся уже въ XVII столѣтіи, Папиномъ и другими, при которыхъ упругостью водянаго пара пользовались какъ движущей силой, англичанинъ Джемсъ Уаттъ въ 1769 году построилъ первую паровую машину двойного дѣйствія, а англичанинъ Стефенсонъ въ 1814 году первый локомотивъ.

66. **Источники тепла.** *a*) Мы знаемъ, что тепло всегда переходитъ отъ тѣлъ съ болѣе высокой температурой къ тѣламъ съ болѣе низкой температурой, такъ что благодаря такому обмѣну тепла должна бы въ концѣ концовъ повсюду получиться одина-

ковая температура (§ 48). Однако мы повсюду наблюдаемъ разницы температуръ, какъ на открытомъ воздухѣ, такъ и въ нашихъ жилищахъ, далѣе между нашимъ тѣломъ и окружающимъ воздухомъ и т. д. Эти разницы температуръ очевидно должны вызываться особыми причинами. Послѣднія мы и называемъ **источниками тепла**. Главнымъ источникомъ тепла для насъ, жителей земли, является солнце. Путемъ лучеиспусканія оно обогрѣваетъ землю. Количество тепла, которое его лучи приносятъ землѣ въ теченіе одного года такъ велико, что оно могло бы растопить воображаемый слой льда, покрывающій всю землю, толщиной въ 31 м.

Температура до-бѣла раскаленнаго солнца по новѣйшимъ вычисленіямъ равна прибл. $5000^0 — 6000^0$ Ц. Если подумаемъ о томъ, что солнце представляетъ собою огромный шаръ, радіусъ котораго равенъ 695500 км, т. е. почти въ 2 раза больше разстоянія отъ земли до луны (послѣднее равно 385000 км), то намъ станетъ понятно, что, несмотря на огромное разстояніе между солнцемъ и землей (150 милліоновъ километровъ), оно можетъ посылать намъ указанное колоссальное количество тепла. Чтобы нагляднѣе представить величину разстоянія между солнцемъ и землей, укажемъ, что самый скорый курьерскій поѣздъ, проходящій 100 км въ часъ, долженъ былъ бы мчаться болѣе 170 лѣтъ, чтобы пройти это разстояніе. Пушечный снарядъ, которому сообщили бы скорость 1 км въ секунду (для этого пришлось бы на половину увеличить его дѣйствительную скорость) долженъ былъ-бы летѣть съ этой скоростью приблизительно $4^3/_4$ года, чтобы пройти путь отъ земли до солнца! (Какимъ образомъ вычисляется это время?).

б) Кромѣ солнца очень важными для человѣка источниками тепла являются искусственные способы полученія тепла. Такъ, уже изъ повседневнаго опыта мы знаемъ, что при треніи получается тепло.

Мы тремъ холодныя руки одну о другую. Треніе куска металла о кусокъ дерева или сукна. Нагрѣваніе при работѣ инструментовъ, напр. пилъ, напильниковъ, буравовъ и пр. Способы полученія огня, напр. треніемъ двухъ кусковъ дерева другъ о друга, искры при ударѣ кремня о желѣзо, треніе спичекъ о шероховатую поверхность и пр. Нагрѣваніе плохо смазанныхъ осей машины, вагоновъ и пр. Накаливаніе метеоритовъ и падающихъ звѣздъ вслѣдствіе тренія въ земной атмосферѣ и т. д.

Наибольшія количества теплоты мы получаемъ путемъ химическихъ процессовъ; такъ, мы добываемъ тепло сжиганіемъ дерева, угля, масла и пр. Во всѣхъ этихъ случаяхъ сжигаемыя тѣла претерпѣваютъ опредѣленныя превращенія, совершенно мѣняющія свойства ихъ вещества. Описаніе и объясненіе этихъ процессовъ мы находимъ въ химіи. Въ человѣческомъ организмѣ и у теплокровныхъ животныхъ также происходятъ подобныя химическія превращенія; имъ мы обязаны образованіемъ тепла въ нашемъ тѣлѣ. У здороваго человѣка этими

процессами во всякомъ климатѣ поддерживается одна и та-же температура тѣла, приблизительно равная $+37^0$ Ц.

О полученіи тепла при электрическихъ явленіяхъ мы будемъ говорить ниже (§ 94 и 95).

VII. Магнитизмъ.

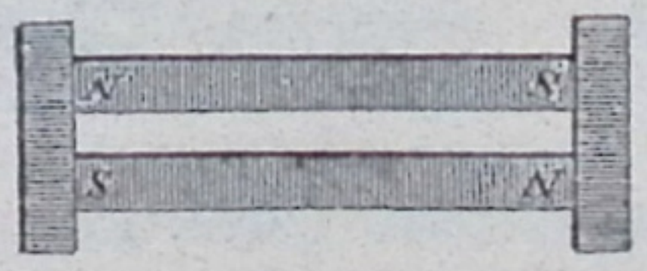
67. **Основныя явленія.** Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ (въ Россіи на Уралѣ, Швеціи, Норвегіи, Лапландіи, Венгріи и т. д.) находятъ сѣровато-черную желѣзную руду, обладающую свойствомъ притягивать и удерживать небольшіе кусочки желѣза. Уже древніе греки знали подобнаго рода камни; они называли ихъ **магнитами**, такъ какъ по преданію они были найдены вблизи города Магнезіи.

Посыпимъ желѣзными опилками такую желѣзную руду (магнитный желѣзнякъ). Мы вицимъ, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ опилки пристаютъ въ большемъ количествѣ. Проведемъ нѣсколько разъ вязальной иглой по такому мѣсту; игла послѣ этого сама способна притягивать и удерживать желѣзные опилки. Магнитный желѣзнякъ называютъ **естественнымъ магнитомъ**, а иглу, обладающую подобными свойствами — **искусственнымъ магнитомъ**.

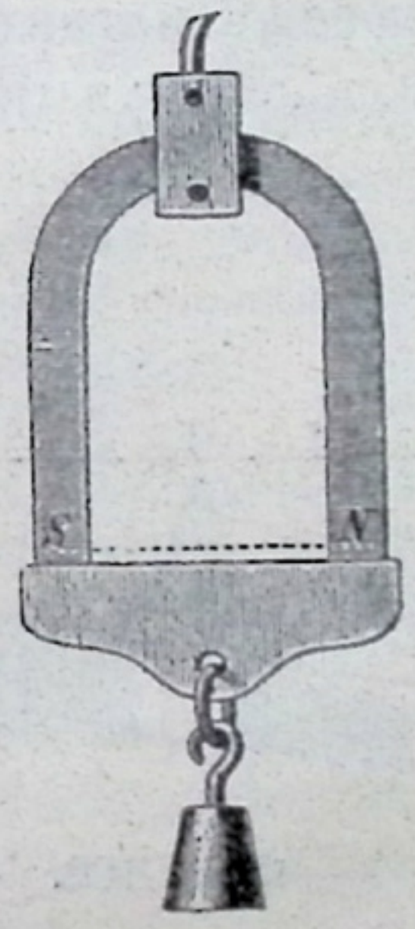
Особенно пригодна для изготовленія искусственныхъ магнитовъ закаленная сталь. Для этой цѣли употребляютъ обыкновенно прямые или подковообразные стальные стержни.

Путемъ натиранія сильнымъ искусственнымъ магнитомъ можно получить сколько угодно магнитовъ, причемъ магнитъ, которымъ натираемъ, совершенно не теряетъ своей притягивающей силы (ср. § 70).

Если магнитъ лежитъ долгое время, то сила его слабѣетъ. Чтобы сохранить притягивающую силу магнита, нужно къ его свободнымъ концамъ приложить брусокъ изъ мягкаго желѣза (якорь) (фиг. 103 и 104).



Фиг. 103.



Фиг. 104.

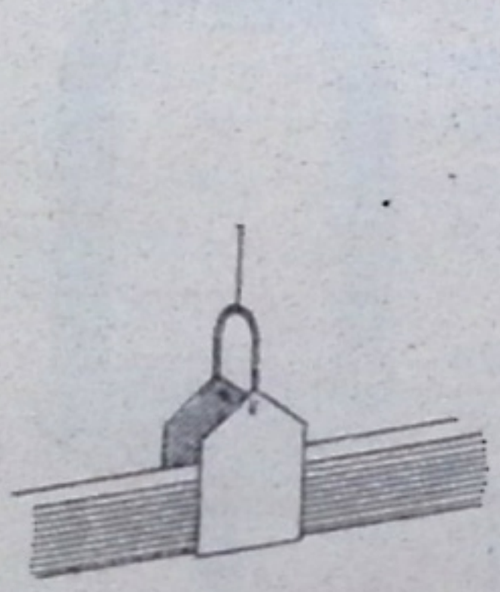
Отъ сотрясенія и рѣзкихъ ударовъ магниты теряютъ въ силѣ. Накаливаніемъ можно ихъ совершенно размагнитить.

68. **Полярность.** Посыпимъ на прямой или подковообразный магнитъ желѣзные опилки; опилки пристанутъ въ большомъ ко-

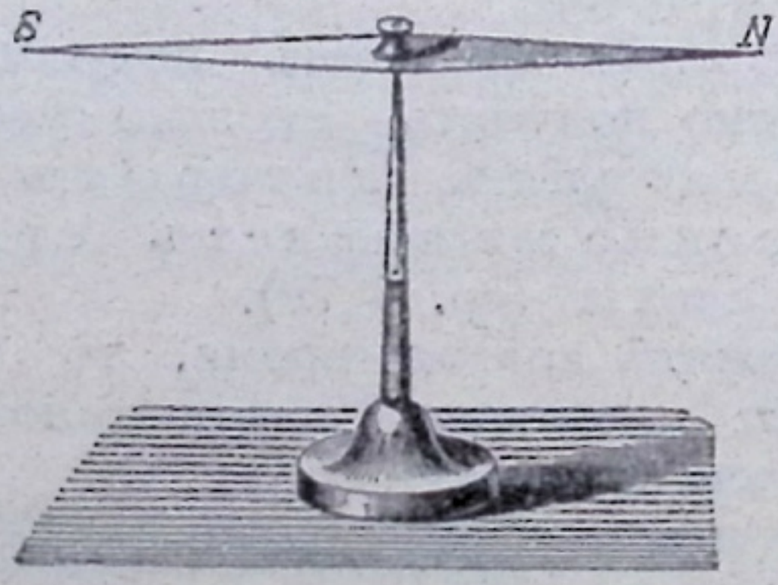
личествѣ у концовъ магнита (фиг. 105), а по срединѣ опилки совсѣмъ не притягиваются. Слѣдовательно, всякій магнитъ сильнѣе всего притягиваетъ у концовъ; притяженіе убываетъ по направленію къ серединѣ, гдѣ оно совершенно исчезаетъ. Точки, въ которыхъ магнитъ притягиваетъ съ наибольшей силой, называются **полюсами магнита**. Прямая, соединяющая оба полюса, называется **осью** магнита.

Фиг. 105.

Изъ картона или изъ жести сдѣлаемъ обойму въ видѣ стрелки (фиг. 106), подвѣсимъ ее на некрученной шелковой нити (или на металлической нити въ родѣ тѣхъ, которыя берутся для украшенія елокъ), и вложимъ въ нее магнитный брусокъ, которымъ мы пользовались въ предыдущемъ опытѣ. Брусокъ подобно коромыслу вѣсовъ удерживается въ горизонтальномъ положеніи; онъ можетъ свободно поворачиваться около вертикальной оси (нити), оставаясь въ горизонтальной плоскости. Оказывается, что магнитъ, вращаясь, устанавливается всегда такъ, что одинъ конецъ его указываетъ на сѣверъ (*N*), а другой на югъ (*S*). Если мы выведемъ его изъ положенія равновѣсія, то онъ послѣ нѣсколькихъ колебаній возвращается въ прежнее положеніе. Тотъ полюсъ магнита, который всегда обращенъ на сѣверъ, называютъ **сѣвернымъ полюсомъ магнита**, а другой — **южнымъ полюсомъ магнита**. Вообще говоря, магнитъ любой формы имѣетъ только два полюса: одинъ сѣверный и одинъ южный.



Фиг. 106.



Фиг. 107.

Изъ тонкой стали изготовляются такъ называемыя магнитныя стрѣлки, имѣющія видъ очень остроконечнаго ромба. Посрединѣ въ нихъ вдѣлана латунная шляпка, которая ставится на вертикальное остріе; магнитная стрѣлка можетъ, слѣдовательно, легко вращаться въ горизонтальной плоскости (фиг. 107).

Подвѣсимъ (такой же какъ на фиг. 106) еще одинъ магнитный брусокъ, на нѣкоторомъ разстояніи отъ перваго; видимъ, что онъ установится параллельно первому. Отмѣтимъ какъ нибудь (напр. наклеимъ по бумажной полоскѣ) обращенные къ сѣверу (сѣвер-

ные) полюсы магнитовъ; затѣмъ возьмемъ одинъ изъ магнитовъ въ руку и станемъ приближать его сѣверный полюсъ къ сѣверному-же полюсу подвижнаго магнита. Сѣверный полюсъ отодвинется; онъ отталкивается. Повернемъ магнитъ въ рукѣ; теперь увидимъ, что сѣверный полюсъ подвижнаго магнита приближается къ южному полюсу нашего магнита; онъ притягивается. Такой же опытъ можемъ произвести, приближая тотъ или другой полюсъ магнита, который держимъ въ рукѣ, къ южному полюсу подвижнаго. Эти опыты приводятъ насъ къ заключенію, что магниты уже издали дѣйствуютъ другъ на друга; далѣе, что это дѣйствіе ослабѣваетъ съ увеличеніемъ разстоянія между полюсами, и, наконецъ, что **одноименные полюсы отталкиваются, а разноименные — притягиваются**. Свойство магнитовъ, въ силу котораго они имѣютъ полюсы, обладающіе указанными особенностями, называютъ **полярностью**.

Причину описанныхъ явленій называютъ **магнитизмомъ**. Если приблизимъ сперва къ одному, а затѣмъ къ другому полюсу подвижнаго магнита (магнитной стрѣлки) концы обыкновеннаго желѣзнаго стержня, то замѣтимъ, что желѣзо притягиваетъ магнитъ (и при томъ любой изъ его полюсовъ). Слѣдовательно, магнитъ притягиваетъ желѣзо и обратно—желѣзо притягиваетъ магнитъ.

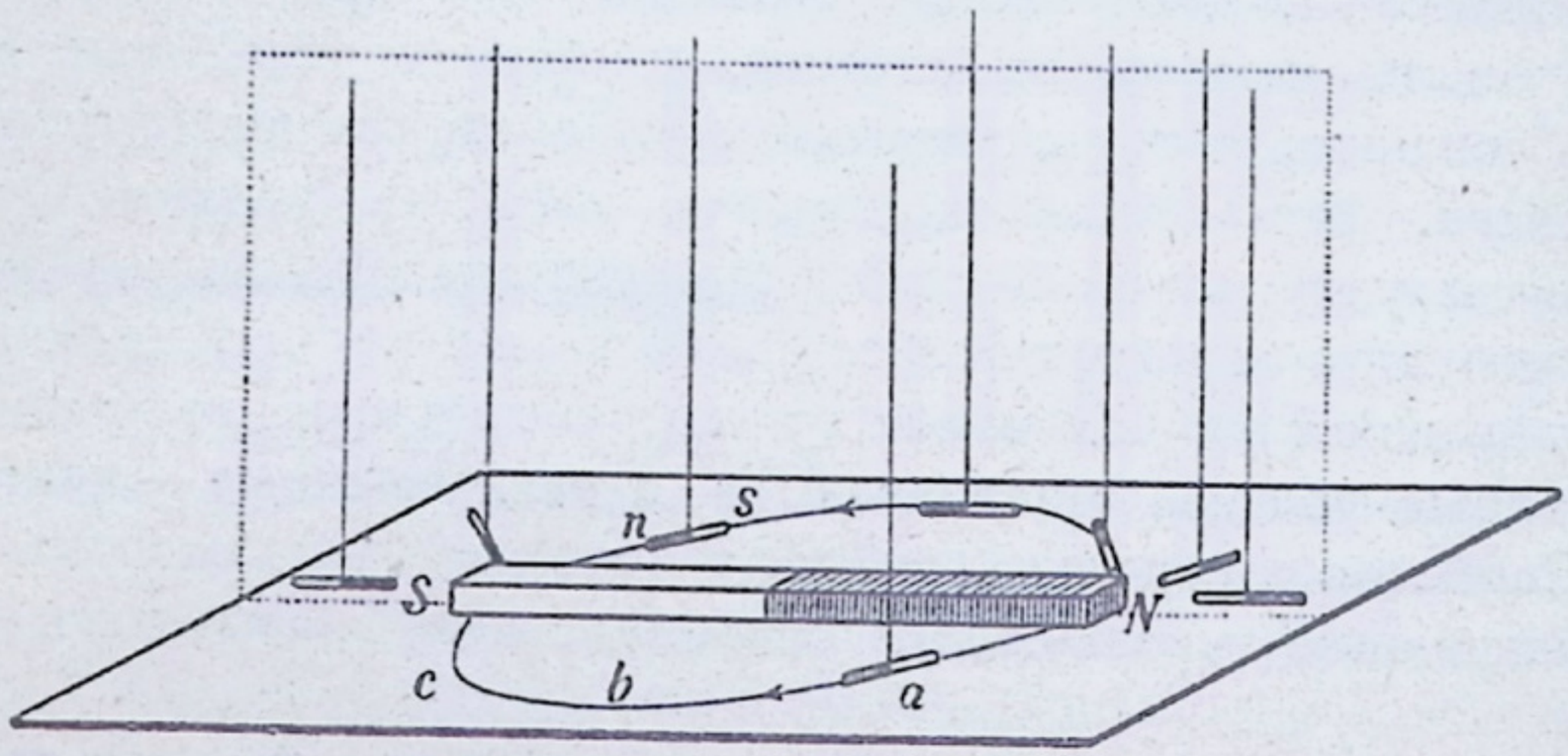
Какъ можно провѣрить, что желѣзный стержень не намагниченъ? Сильный магнитъ притягиваетъ кромѣ желѣза также никкель, кобальтъ и нѣкоторые другіе металлы. Какъ можно отдѣлить желѣзные опилки отъ латунныхъ или мѣдныхъ?

Описанные опыты удаются и въ томъ случаѣ, если мы помѣстимъ между притягивающимъ (или отталкивающимъ) и притягиваемымъ (или отталкиваемымъ) магнитнымъ полюсомъ листъ бумаги, картонъ, стеклянную пластинку, тонкую деревянную дощечку и т. п. Дѣйствіе полюсовъ другъ на друга будетъ однако значительно слабѣе, если между ними помѣстимъ довольно большую желѣзную пластинку.

Полюсы обыкновенно обозначаютъ на прямыхъ или подковообразныхъ магнитахъ буквами *C*, *Ю* или латинскими буквами *N*, *S*. Въ магнитныхъ стрѣлкахъ сѣверный конецъ имѣетъ по большей части синеватый оттѣнокъ (сталь отпущена).

69. **Магнитное поле.** Магнитъ, даже самый сильный, оказываетъ дѣйствіе на желѣзо и другіе магниты только въ границахъ опредѣленнаго пространства, которое и называютъ **магнитнымъ полемъ**. Внутри магнитнаго поля магнитъ дѣйствуетъ на всякій подвижный магнитъ съ нѣкоторой силой, заставляющей послѣдній принять вполнѣ опредѣленное положеніе **покоя**. Такъ,

если положимъ магнитъ N—S (фиг. 108) на бѣлый листъ картона *) и будемъ держать близко надъ картономъ маленькій магнитикъ n-s на некрученной шелковой нити, то послѣдній въ каждомъ мѣстѣ магнитнаго поля займетъ опредѣленное положеніе. На рисункѣ изображены нѣкоторыя изъ этихъ положеній.



Фиг. 108.

Если будемъ передвигать маленькій магнитикъ (отъ N въ a, b и c къ S) въ томъ направленіи, которое указываетъ его ось, то всѣ его послѣдовательныя положенія вмѣстѣ взятыя образуютъ такъ называемую **магнитную силовую линію.**

Такъ какъ положеніе подвижнаго магнитика всегда представляетъ небольшую часть магнитной силовой линіи, то всякій такой отрѣзокъ силовой линіи указываетъ направленіе дѣйствующей въ этомъ мѣстѣ магнитной силы (притяженіе или отталкиваніе).

Мы опредѣляли въ нашемъ опытѣ силовыя линіи, лежащія въ плоскости картона (или немного выше). Если бы мы стали передвигать подвижной магнитикъ въ вертикальной плоскости (она обозначена на рисункѣ пунктиромъ) отъ N къ S, то и тутъ мы бы получили систему силовыхъ линій. То же получилось бы и въ любой другой плоскости. Итакъ, всѣ силовыя линіи магнита въ совокупности располагаются въ пространствѣ въ разныхъ направленіяхъ.

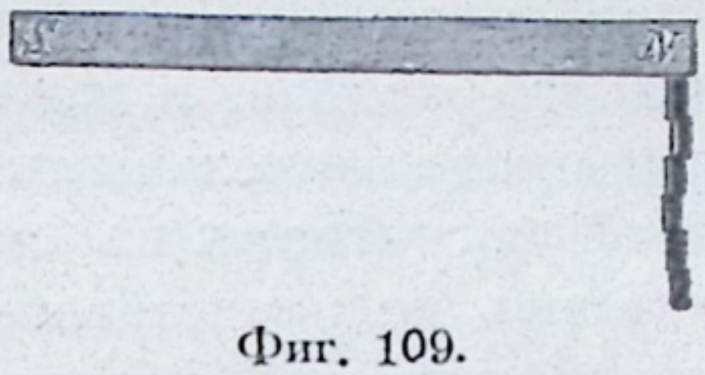
70. **Магнитная индукція.** *а)* Коснемся полюса магнита ненамагниченнымъ стерженькомъ изъ мягкаго желѣза. Стерженекъ притянется къ металлу. Теперь можемъ къ стерженьку подвѣсить второй такой-же, затѣмъ третій и т. д. (фиг. 109). Какъ только первый стерженекъ отнимемъ отъ магнита, вся цѣпь распадется.

Повторимъ теперь опытъ, введя слѣдующее измѣненіе: вмѣсто бруска изъ мягкаго желѣза беремъ брусокъ изъ закаленной

*) По соображеніямъ, которыя выяснятся ниже, слѣдуетъ положить магнитъ такъ, чтобы его N былъ обращенъ къ сѣверу, а S къ югу.

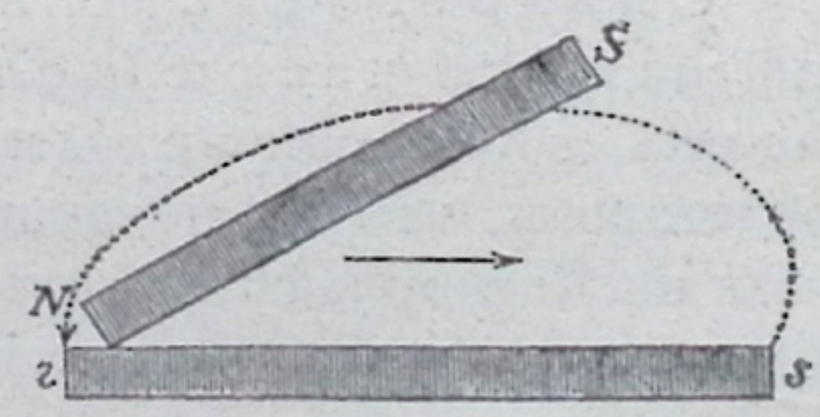
стали. При продолжительномъ соприкосновеніи съ магнитомъ стальной брусокъ пріобрѣтаетъ постоянныя магнитныя свойства.

Мы заключаемъ изъ этихъ опытовъ, что магнитъ можетъ при простомъ соприкосновеніи намагнитить мягкое желѣзо и закаленную сталь. Какъ только мы прекратимъ соприкосновеніе, мягкое желѣзо тотчасъ теряетъ свои магнитныя свойства, а закаленная сталь остается намагниченной. Итакъ, мягкое желѣзо пріобрѣтаетъ только временно магнитныя свойства (**временный** магнитъ), а закаленная сталь становится на продолжительное время магнитомъ (постоянный магнитъ). Даже, если мы только приблизимъ желѣзный брусокъ къ магниту, не касаясь его, и въ этомъ случаѣ брусокъ намагнитится. При помощи магнитной стрѣлки мы можемъ показать, что полюсъ одноименный съ намагничивающимъ полюсомъ получается въ части бруска, болѣе отдаленной отъ магнита. То-же получимъ, если возьмемъ стальной брусокъ. Мы приходимъ на основаніи этихъ опытовъ къ слѣдующему важному закону. Магнитъ намагничиваетъ желѣзо (сталь) и на разстояніи, при чемъ на ближайшемъ концѣ намагничиваемаго тѣла къ одному изъ магнитныхъ полюсовъ образуется полюсъ разноименный съ нимъ, а на болѣе отдаленномъ—одноименный. Это явленіе—намагничиваніе желѣза (стали) магнитомъ на разстояніи—называютъ **магнитной индукціей** или намагничиваніемъ чрезъ вліяніе.



Фиг. 109.

Можно приготовить изъ стальныхъ полосъ болѣе сильные магниты и скорѣе, чѣмъ при простомъ соприкосновеніи, если натирать ихъ сильными магнитами. Существуютъ различные способы натиранія; мы опишемъ простѣйшій изъ нихъ. Полосу, которую желаютъ намагнитить (фиг. 110), кладутъ на столъ и къ ней прикладываютъ у конца *n* натирающій магнитъ *N*-*S*, который держатъ нѣсколько наклонно. Сохраняя тотъ-же наклонъ, проводятъ магнитомъ *N*-*S*, не надавливая, до конца *s*, затѣмъ поднимаютъ магнитъ и переносятъ снова въ точку *n*, слѣдуя приблизительно обозначенному пунктиромъ пути. Затѣмъ снова натираютъ и т. д. Чтобы намагни-



Фиг. 110.

тить тонкія магнитныя стрѣлки достаточно 3—4 раза провести магнитомъ. Какъ-бы долго мы не натирали полосу, мы все же можемъ увеличить притягательную силу искусственнаго магнита лишь до извѣстнаго предѣла.

б) Магнитъ не теряетъ своей силы, если мы сообщимъ соприкосновеніемъ съ нимъ временный магнитизмъ брускамъ изъ мягкаго желѣза, и даже если мы при помощи его натираніемъ или продолжительнымъ соприкосновеніемъ возбудимъ постоянный магнитизмъ въ стальныхъ брускахъ. Отсюда ясно, что магнитизмъ не представляетъ собой какого-то вещества, которое переходитъ изъ магнита въ намагниченный имъ брусокъ. Приведемъ еще нѣсколько опытовъ, поясняющихъ ту-же мысль.

Разломимъ намагниченную вязальную иглу на нѣсколько кусковъ. Изслѣдуемъ ихъ магнитныя свойства; мы находимъ, что каждый, даже самый маленькій кусочекъ иглы представляетъ собой магнитъ; каждый имѣетъ сѣверный и южный полюсъ. Сѣверные полюсы всѣхъ кусковъ направлены въ одну сторону, южные — въ противоположную.

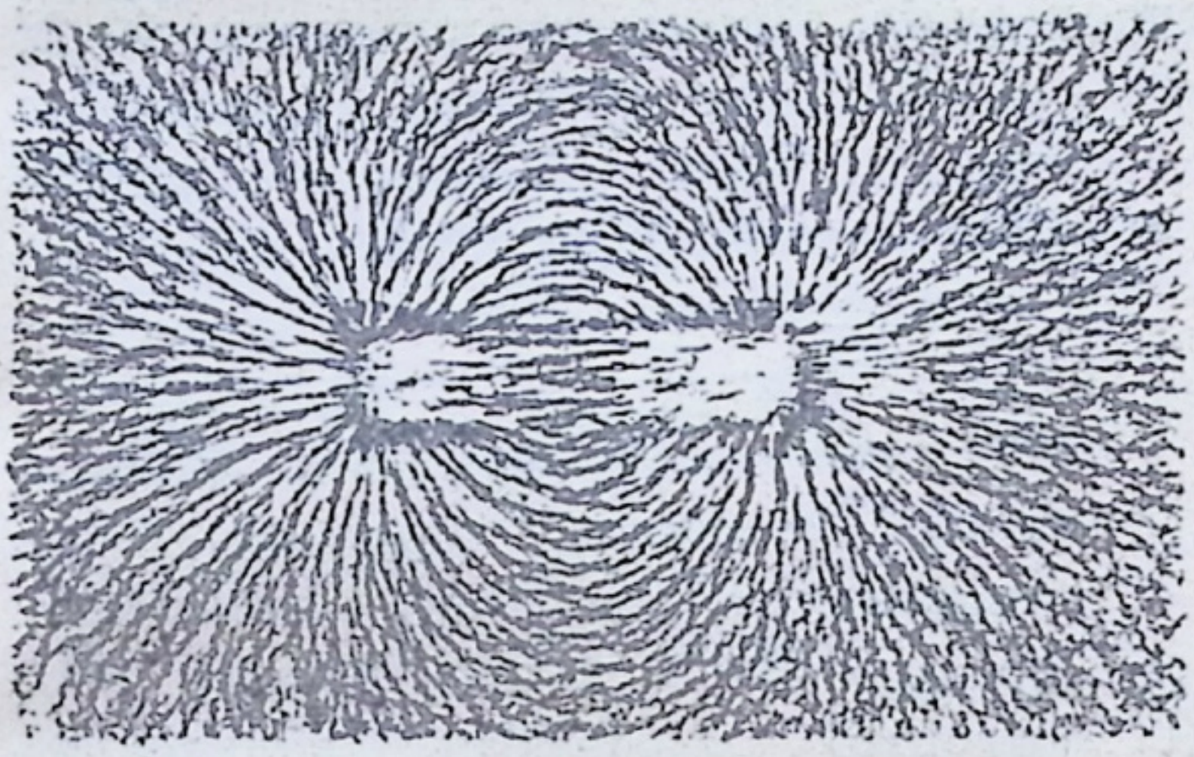
Наполнимъ пробирку очень мелкими стальными опилками и закроемъ ее затѣмъ пробкой. Приближая конецъ пробирки то къ одному, то къ другому полюсу легко подвижной магнитной стрѣлки (оба полюса стрѣлки его одинаково притягиваются), легко убѣждаемся въ томъ, что опилки не намагничены. Натремъ теперь пробирку магнитомъ такимъ-же образомъ, какъ мы это дѣлали выше со стальнымъ брускомъ (фиг. 110). Если теперь приблизимъ конецъ пробирки къ магнитной стрѣлкѣ, то окажется, что одинъ полюсъ стрѣлки отталкивается, а другой притягивается ею; встряхнемъ теперь пробирку, она окажется снова ненамагниченной.

Слѣдовательно, въ каждомъ магнитѣ и мельчайшія его части (молекулы) — магниты; ихъ называютъ элементарными магнитами. Мы можемъ себѣ представить, что въ ненамагниченномъ тѣлѣ элементарные магниты въ безпорядкѣ лежатъ другъ около друга, и что намагничиваніе чрезъ вліяніе (индукціей) или же путемъ натиранія состоитъ въ томъ, что всѣ сѣверные полюсы элементарныхъ магнитовъ поворачиваются въ одну сторону, а южные — въ противоположную. Мы должны при этомъ допустить, что въ мягкомъ желѣзѣ молекулярные магниты легко подвижны, а въ стали — смѣщаются съ трудомъ.

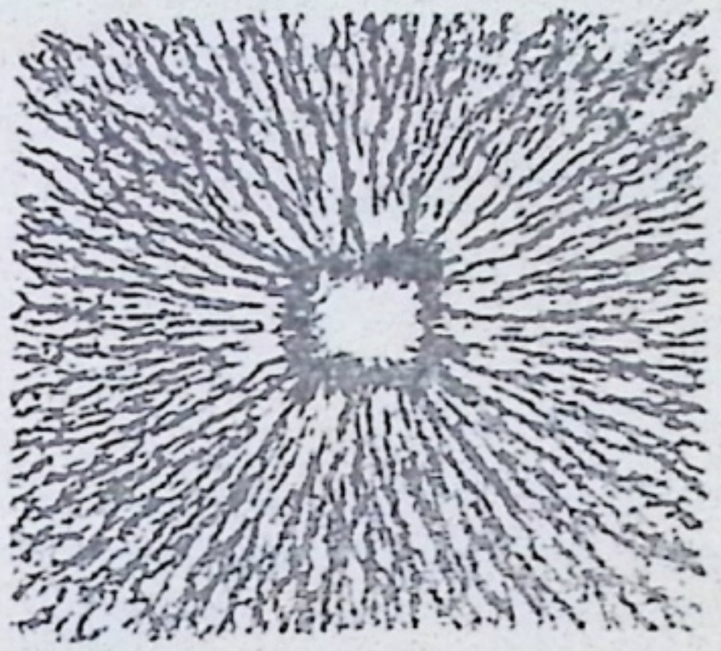
Подвѣсимъ къ обоимъ полюсамъ подковообразнаго магнита небольшіе желѣзные брусочки (какъ на фиг. 109). Внизу ихъ можно соединить другъ съ дру-

гомъ, приложивъ поперечный кусокъ желѣза такъ, чтобъ образовался какъ бы мостъ отъ одного полюса къ другому. Почему держится поперечный стерженекъ?

Легко и отчетливо можно обнаружить магнитныя силовыя линіи, воспользовавшись намагничиваніемъ черезъ вліяніе (индукціей). Для этого накроемъ лежащую на столѣ намагниченную полосу листомъ бѣлаго картона и будемъ равномѣрно просѣивать на картонъ черезъ маленькое сито мелкіе желѣзные опилки. При легкомъ постукиваніи о картонъ, опилки расположатся по магнитнымъ силовымъ линіямъ. Наблюдаемое расположеніе ихъ воспроизведено на фиг. 111. Каждый изъ опилковъ образуетъ маленькую



Фиг. 111.



Фиг. 112.

магнитную стрѣлку; при сотрясеніяхъ онъ присоединяется къ сосѣдней подобно двумъ маленькимъ брусочкамъ на фиг. 109. Чтобы получить силовыя линіи отъ одного полюса, мы должны держать магнитный брусокъ перпендикулярно къ плоскости картона, тогда дѣйствіе другого полюса, который находится довольно далеко, достаточно слабо. Силовыя линіи представятся въ этомъ случаѣ въ видѣ расходящихся во всѣ стороны отъ полюса лучей (фиг. 112).

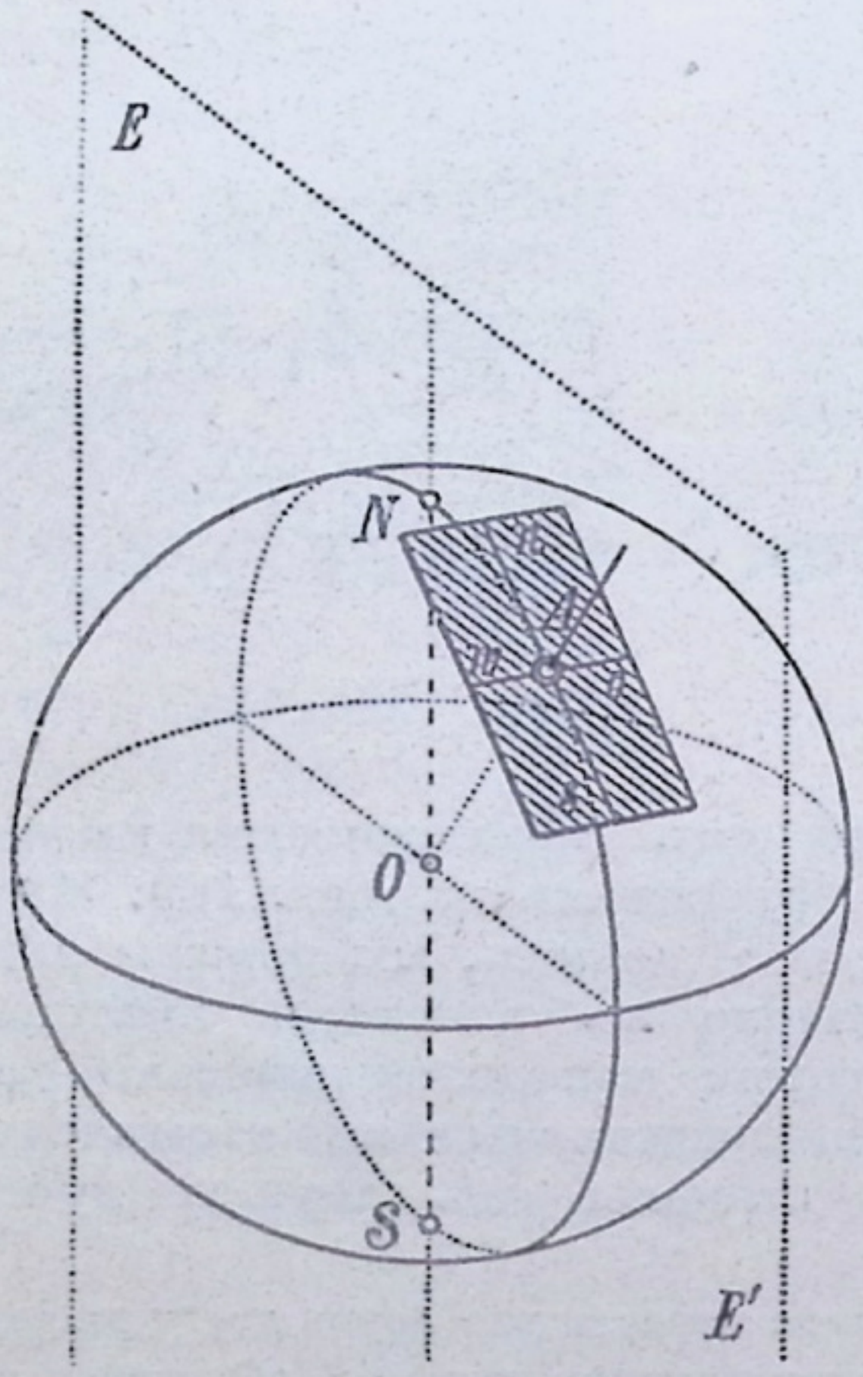
Положите на столъ два прямыхъ магнита параллельно другъ другу на разстояніи 4—5 цт, при томъ такъ, что ихъ одноименные полюсы обращены въ противоположныя стороны (какъ изобр. на фиг. 103, отбросивъ якоря). Положите на нихъ листъ картона, посыпьте желѣзными опилками, слегка ударяя по картону. Опилки снова расположатся по магнитнымъ силовымъ линіямъ. Повторите опытъ съ подковообразнымъ магнитомъ, а затѣмъ съ двумя прямыми магнитами, расположенными такъ, что ихъ одноименные полюсы обращены въ одну сторону. Попробуйте объяснить то, что будете наблюдать, на основаніи предыдущихъ опытовъ. Попробуйте объяснить, почему приставшіе къ полюсу магнита опилки образуютъ нѣчто похожее на растрепанную кисть (фиг. 105). Подвѣсьте на нитяхъ два брусочка изъ мягкаго желѣза такъ, чтобы они касались другъ друга. Приблизьте къ нимъ снизу одинъ полюсъ сильнаго магнита. Что вы наблюдаете? Объясните явленіе!

Если къ магниту присоединимъ якорь изъ мягкаго желѣза, то послѣдній пристанетъ съ нѣкоторой опредѣленной силой къ магниту. Почему? Почему под-

ковообразный магнитъ крѣпче удерживаетъ якорь, чѣмъ прямой, хотя бы оба были одинаково сильно намагничены? Объясните притяженіе магнитомъ мягкаго желѣза на основаніи явленія намагничиванія вслѣдствіе индукціи. Притягиванію всегда предшествуетъ намагничиваніе вслѣдствіе индукціи. Почему желѣзо одинаково притягиваетъ сѣверный и южный полюсъ магнита?

Положимъ другъ на друга одноименными полюсами два прямыхъ магнита; они образуютъ вмѣстѣ магнитъ, который можетъ поднять грузъ въ два раза большій, чѣмъ каждый изъ нихъ въ отдѣльности. Если же наложимъ два магнита разноименными полюсами другъ на друга, то ихъ подъемная сила очень мала. Почему?

71. **Меридіанъ. Полуденная линія.** Проведемъ плоскость *E--E'* черезъ то мѣсто *A*, гдѣ мы находимся (фиг. 113) и земную ось *N S*; эту плоскость называютъ **астрономическимъ меридіаномъ.** Онъ пересѣкаетъ земной шаръ по большому кругу, который называютъ **земнымъ меридіаномъ даннаго мѣста.** Плоскость меридіана пересѣкается съ плоскостью горизонта даннаго мѣста *A* по прямой *n—s*, которую называютъ **полуденной линіей** даннаго мѣста. Звѣзды, а также солнце и луна два раза въ теченіе ихъ суточнаго оборота проходятъ черезъ плоскость меридіана; о нихъ тогда говорятъ, что они два раза кульминируютъ въ плоскости меридіана. Моментъ, въ который солнце кульминируетъ при своемъ движеніи по видимой нами части неба, одинаково отстоитъ отъ момента восхода и захода солнца и поэтому называется **полуднемъ**. Въ полдень тѣнь отъ вертикально-стоящаго стержня обращена у насъ прямо на сѣверъ; ея направленіе совпадаетъ съ полуденной линіей и она имѣетъ наименьшую длину, такъ какъ солнце занимаетъ свое наиболѣе высокое положеніе. Поэтому мы можемъ слѣдующимъ образомъ опредѣлить полуденную линію.



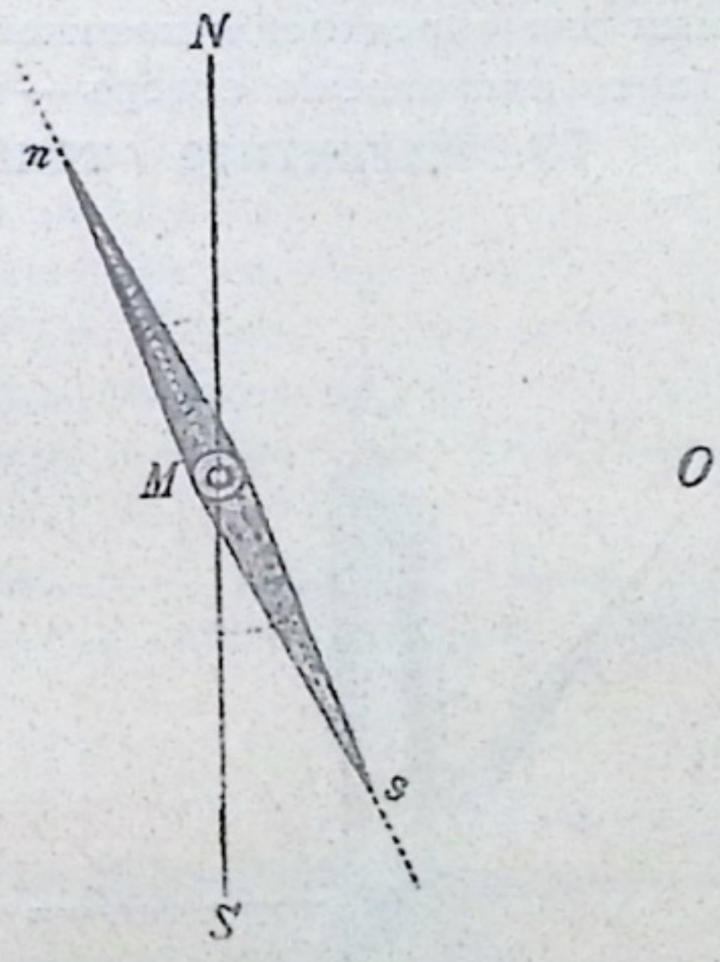
Фиг. 113.

Укрѣпимъ вязальную иглу съ заостреннымъ концомъ посрединѣ обтянутой бѣлой бумагой доски перпендикулярно къ плоскости послѣдней. Въ солнечный день, около полудня, положимъ доску горизонтально на столъ. Въ тотъ моментъ,

когда солнце достигнетъ своего наиболѣе высокаго положенія и тѣнь отъ иглы будетъ имѣть наименьшую длину, тогда направленіе тѣни укажетъ намъ направленіе **полуденной линіи**.

Чтобы точнѣе опредѣлить полуденную линію, проводятъ концентрическіе круги на чертежной доскѣ и укрѣпляютъ перпендикулярно къ плоскости рисунка въ общемъ центрѣ O кругов̀ъ тонкій стержень (вязальную иглу). Доску кладутъ горизонтально на освѣщенное солнцемъ мѣсто и выжидаютъ, пока утромъ (около 10 часовъ) конецъ тѣни стержня коснется одного изъ начерченныхъ круговъ. Эту точку A отмѣчаютъ карандашемъ. Затѣмъ, спустя столько-же времени послѣ полудня, за сколько мы наблюдали до полудня (т. е. около 2 часовъ), выжидаютъ, пока конецъ тѣни коснется того-же самаго круга. Отмѣтимъ и эту точку B и раздѣлимъ уголъ AOB пополамъ; тогда линія, дѣлящая уголъ пополамъ, укажетъ намъ направленіе полуденной линіи.

72. **Магнитное склоненіе.** *а*) Дадимъ длинной магнитной стрѣлкѣ свободно колебаться надъ горизонтальной доскою, на которой проведена полуденная линія. Мы увидимъ, что магнитная ось остановившейся стрѣлки не совпадаетъ съ направленіемъ полуденной линіи, а образуетъ съ ней нѣкоторый уголъ, который называютъ угломъ **магнитнаго склоненія** (фиг. 114). Различаютъ западное и восточное склоненіе, смотря по тому, отклоняется ли сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки на западъ или на востокъ отъ полуденной линіи. Магнитная стрѣлка, насаженная на вертикальное остріе и легко вращающаяся въ горизонтальной плоскости, носитъ названіе стрѣлки склоненія.

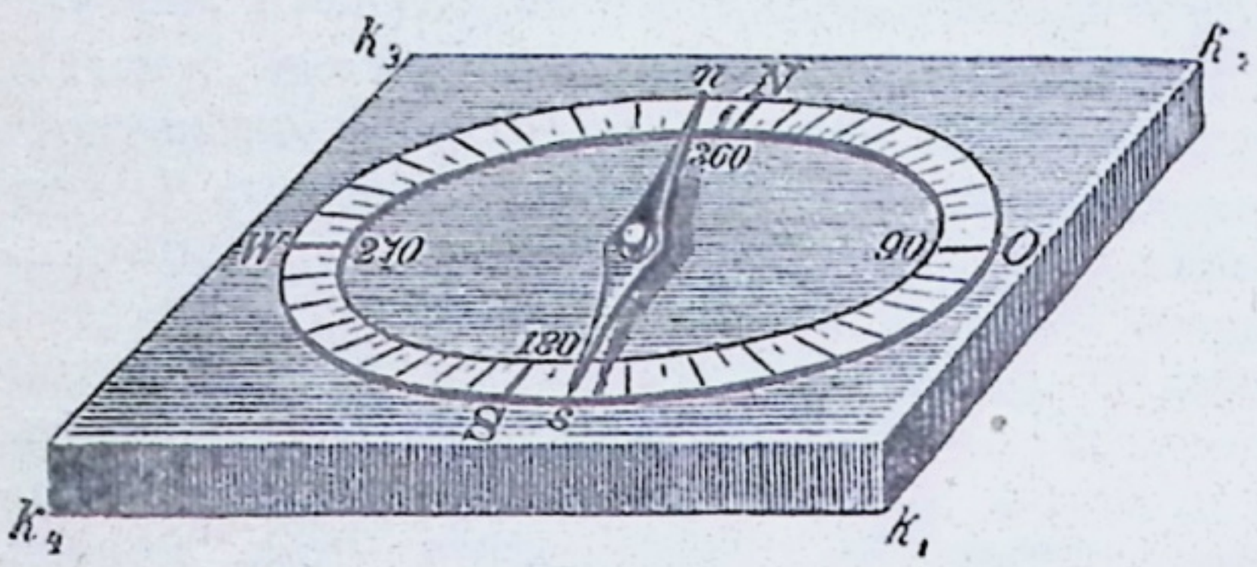


Фиг. 114.

Магнитное склоненіе въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности различно. Кромѣ того, въ данномъ мѣстѣ оно измѣняется съ теченіемъ времени; такъ напр., въ 1580 году въ Парижѣ оно было восточнымъ и равнялось $11°30'$, въ 1663 году равнялось $0°$, въ 1700 году стало западнымъ и было равно $8°$. Явленіе магнитнаго склоненія впервые болѣе точно наблюдалъ Колумбъ при своемъ первомъ путешествіи. Во время грозы, землетрясенія и во время сѣверныхъ сіяній магнитная стрѣлка склоненія начинаетъ колебаться.

б) При помощи магнитной стрѣлки легко опредѣлять страны свѣта. Приспособленная для этой цѣли магнитная стрѣлка

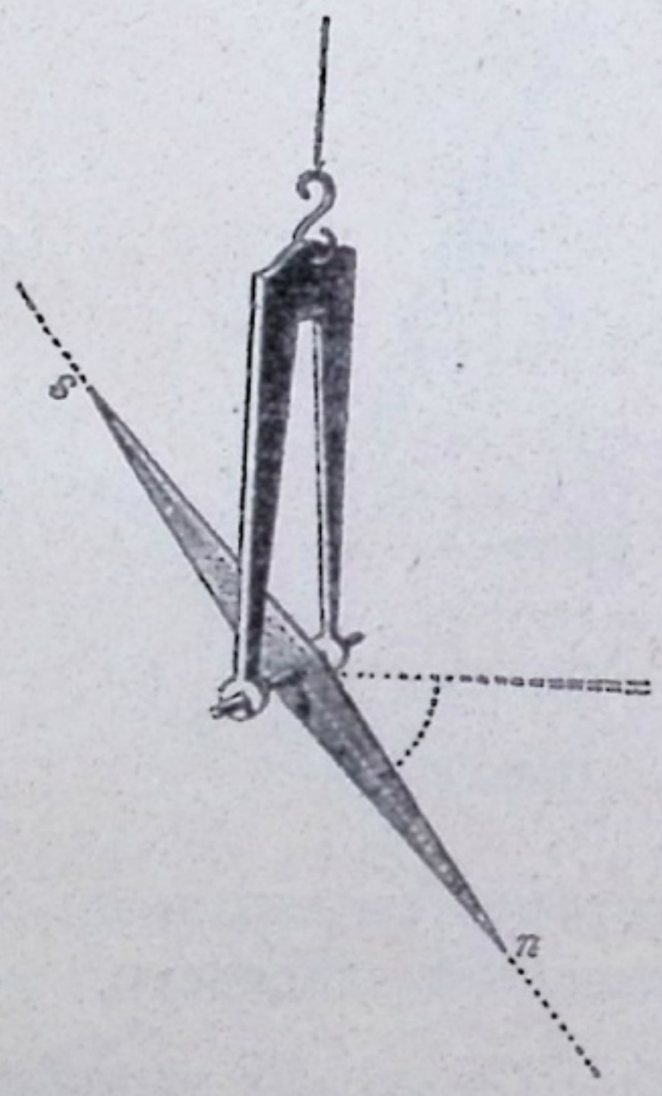
называется **компасомъ** или **буссолью**. Компасъ (фиг. 115) представляетъ не что иное, какъ магнитную стрѣлку *s n*., могущую вращаться на вертикальной оси. Подъ нею помѣщенъ кружокъ, раздѣленный на 360 градусовъ, на которомъ отмѣчены страны свѣта. Стрѣлка вмѣстѣ съ кружкомъ заключается для удобства въ деревянный или латунный футляръ, сверху закрытый стекломъ.



Фиг. 115.

Начиная съ VII столѣтія компасъ примѣнялся мореплавателями и рудокопами для опредѣленія положенія мѣста. Какъ можно съ помощью компаса опредѣлить направленіе сѣверъ — югъ, если извѣстно склоненіе даннаго мѣста?

73. **Магнитное наклоненіе**. Укрѣпимъ магнитную стрѣлку такъ, чтобы она могла вращаться около горизонтальной оси, проходящей черезъ ея центръ тяжести (фиг. 116). Латунная рамка, въ которой движется магнитная стрѣлка, сама можетъ вращаться около вертикальной оси (шелковой нити), на которой она подвѣшена. Магнитная стрѣлка займетъ въ такомъ случаѣ наклонное положеніе по отношенію къ горизонтальной плоскости.



Фиг. 116.

Уголъ между магнитной осью *ns* стрѣлки и горизонтальной плоскостью называютъ **угломъ магнитнаго наклоненія**, а самую стрѣлку, устроенную, какъ выше было описано, стрѣлкой наклоненія. Различаютъ сѣверное и южное наклоненіе, смотря по тому, наклоняется ли сѣверный или южный полюсъ внизъ.

Магнитное наклоненіе въ различныхъ мѣстахъ — различно; оно равно 0° вблизи экватора; въ сѣверномъ полушаріи наклоняется сѣверный полюсъ, а въ южномъ — южный и при томъ тѣмъ болѣе, чѣмъ дальше стрѣлка будетъ находиться на сѣверъ или на югъ отъ экватора. Въ средней полосѣ Западной Европы наклоненіе сѣверное и равно въ настоящее время приблизительно 66°. Капитанъ Джонъ Россъ открылъ въ 1831 году въ Сѣверной Америкѣ мѣсто, въ которомъ сѣверное наклоненіе равно 90°; его

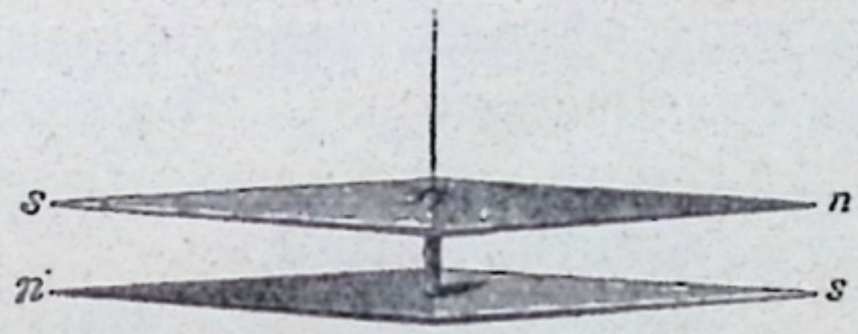
племянникъ Джемсъ Россъ подошелъ въ 1841 году всего на разстояніе въ 255 клм къ пункту, въ которомъ южное наклоненіе равно 90°; это было на югъ отъ Новой Голландіи въ землѣ Викторіи.

74. **Земля, какъ магнитъ.** Станемъ держать желѣзный стержень параллельно магнитной оси стрѣлки наклоненія. Стержень намагнитится, и у нижняго конца получится сѣверный полюсъ.

Въ этомъ опытѣ желѣзный стержень намагничивается, вслѣдствіе дѣйствія земли чрезъ вліяніе (магнитная индукція). Итакъ, **земля** дѣйствуетъ какъ **огромный магнитъ**, у котораго полюсы находятся въ точкахъ, гдѣ стрѣлка наклоненія устанавливается вертикально. Сѣверный полюсъ земного магнита лежитъ въ Сѣверной Америкѣ въ Бутіа Феликсъ, а южный — на югъ отъ Новой Голландіи. Подъ дѣйствіемъ земного магнитизма всѣ подвижныя магнитныя стрѣлки (склоненія и наклоненія) устанавливаются въ опредѣленномъ положеніи равновѣсія.

Направленіе стрѣлки наклоненія указываетъ въ каждой точкѣ земной поверхности направленіе проходящей черезъ нее магнитной силовой линіи земли. Приведенный выше опытъ удается лучше всего въ томъ случаѣ, если расположимъ длинную ось желѣзнаго стержня въ направленіи магнитной силовой линіи земли. Желѣзныя рѣшетки, а также стальные инструменты слесарей по большей части обладаютъ магнитными свойствами. Какимъ образомъ они ихъ пріобрѣли?

Соединимъ двѣ одинаково намагниченныя стрѣлки короткимъ стерженькомъ (фиг. 117), проходящимъ черезъ ихъ середину такъ, чтобы разноименные полюсы стрѣлокъ находились одинъ подъ другимъ и подвѣсимъ эту двойную стрѣлку на нити. Такая стрѣлка должна оставаться въ покоѣ въ любомъ положеніи, такъ какъ земной магнитизмъ съ одинаковой силой притягиваетъ одинъ и отталкиваетъ другой изъ направленныхъ въ одну сторону полюсовъ. Эти силы притяженія и отталкиванія должны взаимно уравновѣситься. Подобная двойная стрѣлка называется **астатической магнитной стрѣлкой**. Приготовить вполнѣ астатическую стрѣлку, остающуюся въ покоѣ въ любомъ направленіи, представляется однако невозможнымъ, такъ какъ нельзя ни намагнитить совершенно одинаково двѣ стальныя стрѣлки, ни расположить ихъ совершенно точно въ одной плоскости.



Фиг. 117.

VIII. Электричество.

А) Явленія статическаго электричества.

75. **Основныя явленія.** Многія тѣла, особенно различныя смолы и резиновыя издѣлія (напр. янтарь, шеллакъ, сургучъ, каучукъ, гуттаперча, эбонитъ), затѣмъ стекло, сѣра, парафинъ, при натираніи ихъ о шерсть, шелкъ, мѣхъ и т. п., приходятъ въ особое состояніе, отличное отъ ихъ обычнаго. Такъ, если натремъ предварительно осушенную нагрѣваніемъ стеклянную палочку шелкомъ или-же кускомъ кожи, покрытымъ ртутной амальгамой, то стекло станетъ притягивать обрѣзки бумаги, бузинные шарики*) и т. п. легкія тѣла; послѣ соприкосновенія со стекломъ они тотчасъ-же отъ него отталкиваются. Если приблизимъ палецъ къ натертой эбонитовой палочкѣ, то замѣтимъ, какъ съ легкимъ трескомъ перескакиваютъ искорки съ эбонита въ палецъ, и почувствуемъ какъ бы уколъ. Если приблизимъ къ лицу натертую палочку, то получимъ такое ощущеніе, какъ будто на лицо попала паутина. Тѣ-же явленія наблюдаются при натираніи шерстью или мѣхомъ сургучной или эбонитовой палочки.

Мы говоримъ, что треніемъ стекло (смола, эбонитъ) приводится въ **электрическое состояніе;** тѣло, приведенное въ такое состояніе, называютъ наэлектризованнымъ или (лучше) **тѣломъ, заряженнымъ** электричествомъ; или какъ мы будемъ говорить, тѣло обладаетъ **электрическимъ зарядомъ.**

Неизвѣстную причину этихъ явленій называютъ **электричествомъ.**

Уже изъ основныхъ опытовъ мы можемъ заключить, что электрическое состояніе можетъ имѣть различныя степени, подобно тому, какъ тепловое состояніе тѣла можетъ быть различно (градусы тепла). Дѣйствительно, натертый стержень притягиваетъ, а затѣмъ отталкиваетъ одинъ разъ легкія тѣла сильнѣе, а другой разъ—слабѣе; проскакивающая съ трескомъ въ палецъ искра и сопровождающее ее ощущеніе укола становятся замѣтны только при болѣе высокой степени электрическаго состоянія.

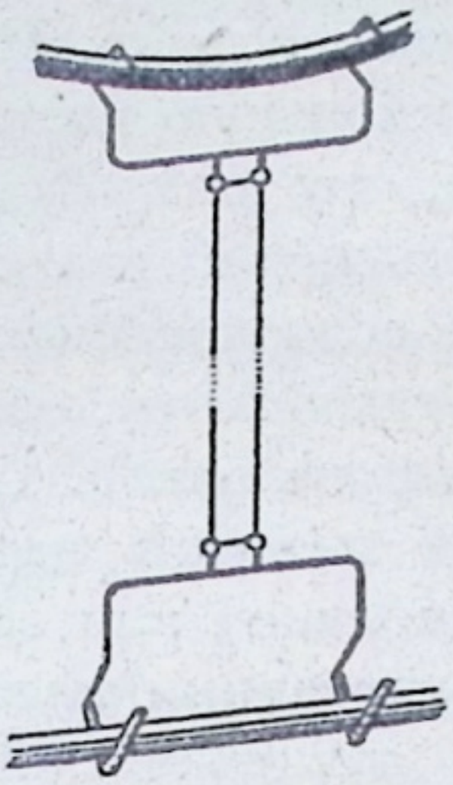
Притяженіе легкихъ тѣлъ янтаремъ, который по древне-гречески назывался электронъ, было извѣстно грекамъ еще за 600 лѣтъ до Р. Хр.; отъ слова «электронъ» и происходитъ слово электричество.

Наэлектризованныя тѣла могутъ притягивать и болѣе тяжелыя тѣла, если только они легко подвижны. Такъ, если под-

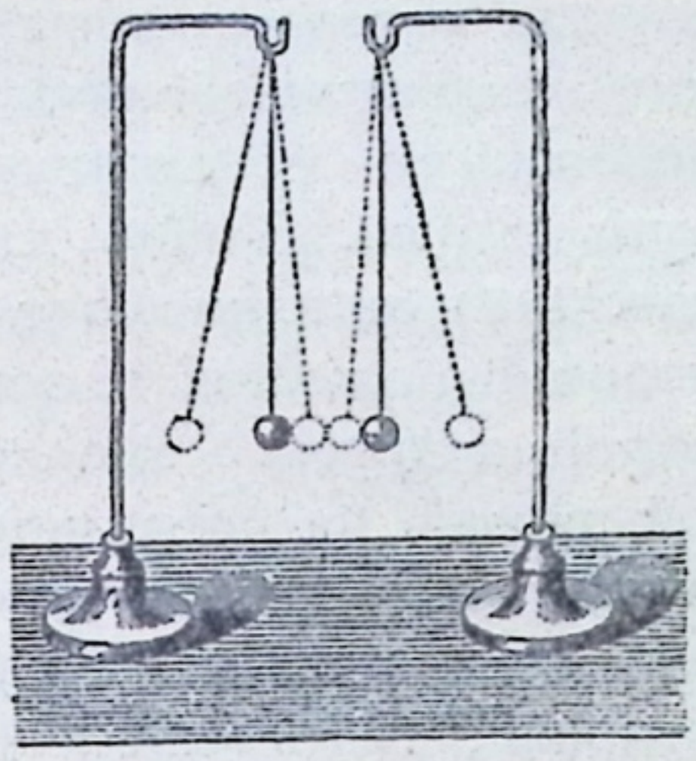
---

*) Особенно пригодны для этихъ опытовъ шарики изъ сердцевины подсолнечника.

вѣсимъ на двухъ параллельныхъ шелковыхъ нитяхъ (фиг. 118) (б и ф и л я р н ы й п о д в ѣ с ъ) при помощи особаго приспособленія деревянный стержень, то окажется, что и его легко сдвинуть, приближая къ нему натертый стеклянный или эбонитовый стержень. Если вмѣсто деревяннаго стержня подвѣсимъ на этомъ приборѣ натертый стеклянный или эбонитовый стержень и приблизимъ къ одному его концу руку, то стержень повернется въ сторону руки. Итакъ, притяженіе между наэлектризованнымъ и притягиваемымъ тѣломъ — в з а и м н о.



Фиг. 118.



Фиг. 119.

76. **Передача электричества.** Подвѣсимъ рядомъ на шелковыхъ нитяхъ два бузинныхъ шарика или два шара изъ плотной папиросной бумаги (фиг. 119) и къ о д н о м у изъ нихъ приблизимъ натертую стеклянную или смоляную палочку: этотъ шарикъ притянется къ наэлектризованной палочкѣ, коснется ея и тотчасъ оттолкнется (**электрическій маятникъ**). Приблизимъ теперь второй шарикъ къ первому; онъ притянется, а затѣмъ ш а р и к и о т т о л к н у т с я.

Первый шарикъ, коснувшись палочки, самъ наэлектризовался; на него перешелъ электрическій зарядъ съ натертой палочки. Наэлектризованный шарикъ можетъ въ свою очередь зарядить другой электрическій маятникъ.

Мы видимъ, что т ѣ л а п о л у ч а ю т ъ з а р я д ъ, е с л и о н и к о с н у т с я н а э л е к т р и з о в а н н а г о т ѣ л а. Э т о т ъ с п о с о б ъ с о о б щ е н і я т ѣ л у э л е к т р и ч е с т в а н а з ы в а ю т ъ **электризаціей чрезъ прикосновеніе.**

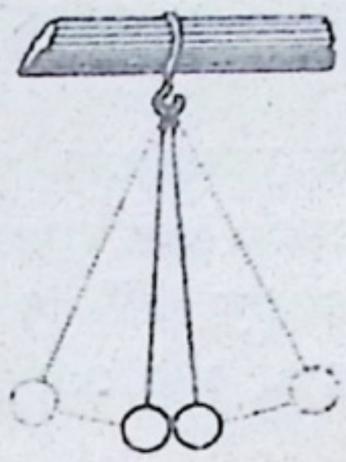
Электризація черезъ прикосновеніе обнаруживается еще яснѣе, если коснемся натертой стеклянной палочки такъ называемымъ п р о б н ы м ъ ш а р и к о м ъ (фиг. 120) (металлическій шарикъ, укрѣпленный на ручкѣ изъ шеллака или эбонита) и приблизимъ его тотчасъ къ электрическому маятнику, до котораго мы передъ тѣмъ коснулись рукой. Шарикъ окажется наэлектризованнымъ. Если мы къ электрическому маятнику, наэлектризованному предварительно отъ стеклянной палочки, приблизимъ послѣднюю, то маятникъ будетъ в с е в р е м я о т т а л к и в а т ь с я. Итакъ, наэлектризованное тѣло притягиваетъ ненаэлектризованное, но отталкиваетъ другое имъ же наэлектризованное.

Фиг. 120.

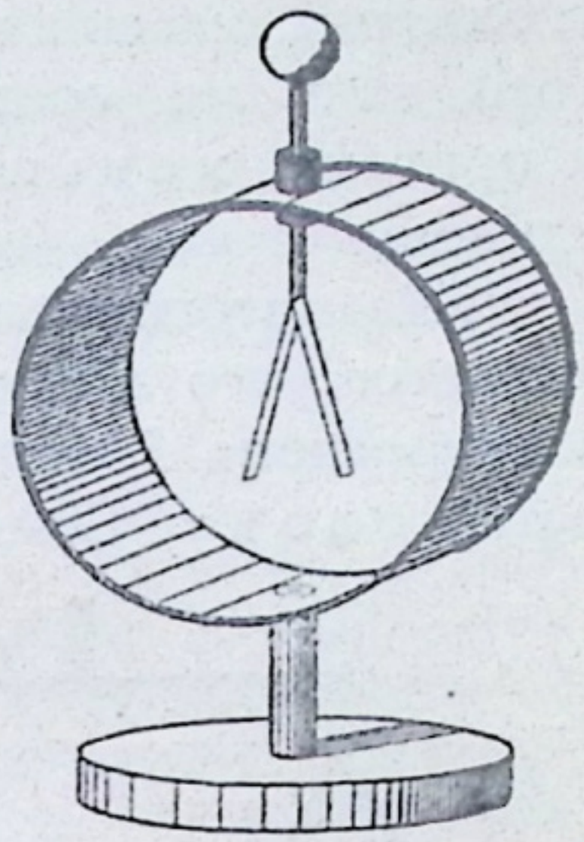
77. **Положительное и отрицательное электричество.** Подвѣсимъ на двухъ нитяхъ (фиг. 118) стеклянную палочку, натертую шелкомъ, и сбоку приблизимъ къ ней вторую стеклянную палочку такъ-же наэлектризованную; подвижная палочка отталкивается. То-же произойдетъ, если возьмемъ двѣ смоляныя или эбонитовыя палочки, натертыя лисьимъ хвостомъ. Наоборотъ, если возьмемъ одну наэлектризованную смоляную палочку, а другую — наэлектризованную стеклянную, то онѣ будутъ сильно притягивать другъ друга. Точно такъ-же и два электрическихъ маятника (фиг. 119) отталкиваются, если коснемся обоихъ стеклянной или смоляной палочкой и притягиваются, если одного коснемся стеклянной, а другого смоляной палочкой. Очевидно, что электрическій зарядъ на стеклянной палочкѣ, натертой шелкомъ, *иного рода*, чѣмъ зарядъ на смоляной или эбонитовой палочкѣ. Такъ какъ различныя наэлектризованныя тѣла, чѣмъ бы мы ихъ ни натирали, дѣйствуютъ на электрическій маятникъ, наэлектризованный стекломъ и смолой, или такъ, какъ стеклянная, или же такъ, какъ смоляная палочка, то изъ этого слѣдуетъ, что существуетъ только **два рода электричества**. Одно называютъ **стекляннымъ**, другое — **смоляннымъ** и поэтому выше найденный **законъ взаимодѣйствія наэлектризованныхъ тѣлъ** выражаютъ такъ: *одноименныя электричества* (правильнѣе: тѣла, наэлектризованныя одноименными электричествами) *отталкиваются*, *разноименныя электричества притягиваются*. Далѣе, такъ какъ два электрическихъ маятника, заряженныхъ одинаково сильно, но противоположными электричествами, послѣ соприкосновенія другъ съ другомъ опускаются, т. е. оказываются ненаэлектризованными, то отсюда слѣдуетъ, что два одинаковыхъ заряда стекляннаго и смоляного электричества, находясь на одномъ тѣлѣ, взаимно уничтожаются; въ этомъ отношеніи эти два рода электричества обладаютъ противоположными свойствами. Поэтому *стеклянное электричество* обыкновенно называютъ *положительнымъ*, а *смоляное* — *отрицательнымъ* и обозначаютъ первое $+E$, а второе $-E$.

78. **Электроскопъ.** Если къ стеклянной палочкѣ подвѣсимъ на тонкихъ металлическихъ нитяхъ два электрическихъ маятника, касающихся другъ друга (фиг. 121), а снизу прикоснемся къ нимъ наэлектризованной палочкой, то шарики оттолкнутся. На этомъ основано устройство **электроскопа съ золотыми листками**, изображеннаго на фиг. 122.

Въ металлической коробкѣ, закрытой спереди и сзади стеклами, вверху вдѣлана эбонитовая пробка, сквозь которую проходитъ металлическій стерженекъ; наверху къ нему придѣланъ шарикъ (пластинка), а внизу укрѣплены двѣ весьма тонкія полоски золота (или алюминія). При помощи электроскопа легко узнать, з а р я ж е н о-л и т ѣ л о и л и н ѣ т ъ. Для этого шарикъ электроскопа приводятъ въ соприкосновеніе или съ изслѣдуемымъ тѣломъ, или же, если оно слишкомъ сильно заряжено, съ пробнымъ шарикомъ, который предварительно заряжаемъ изслѣдуемымъ тѣломъ. Мы можемъ также узнать и з н а к ъ э л е к т р и ч е с к а г о з а р я д а. Если зарядимъ электроскопъ сперва $+E$ и затѣмъ коснемся его шарика пробнымъ шарикомъ, заряженнымъ тоже $+E$, то листочки разойдутся еще больше; если же коснемся шарика электроскопа тѣломъ, заряженнымъ $-E$, то листочки нѣсколько сойдутся.

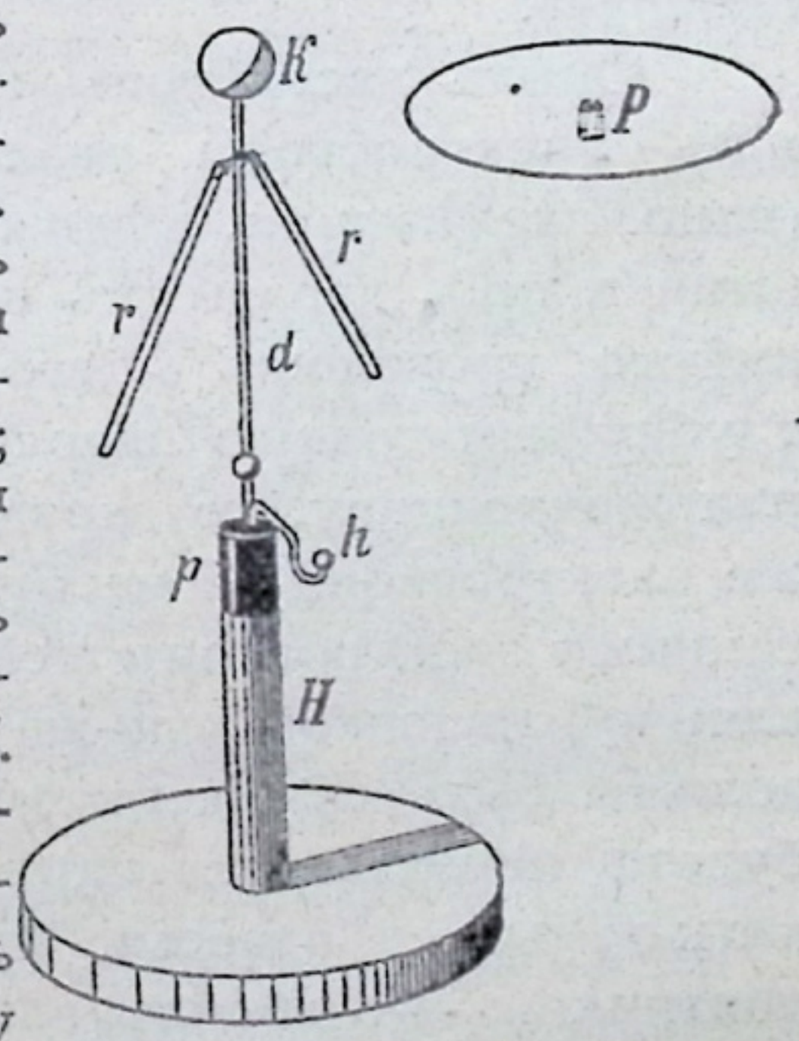


Фиг. 121.



Фиг. 122.

Электроскопъ съ золотыми листочками особенно пригоденъ для обнаруживанія слабыхъ электрическихъ зарядовъ. Для нѣкоторыхъ опытовъ употребляютъ э л е к т р о с к о п ъ с ъ б у м а ж н ы м и м а я т н и к а м и (фиг. 123). На деревянномъ столбикѣ H укрѣпленъ цилиндрическій кусокъ параффина или эбонита p, въ который вставленъ металлическій стерженекъ d съ крючкомъ h; къ стерженьку подвѣшены двѣ тонкія трубочки r изъ папиросной бумаги, легко вращающіяся. На верхній конецъ стерженька d надѣтъ металлическій шарикъ K или-же металлическая пластинка P.

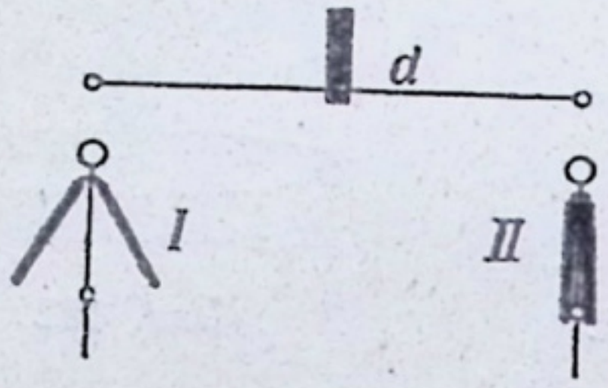


Фиг. 123.

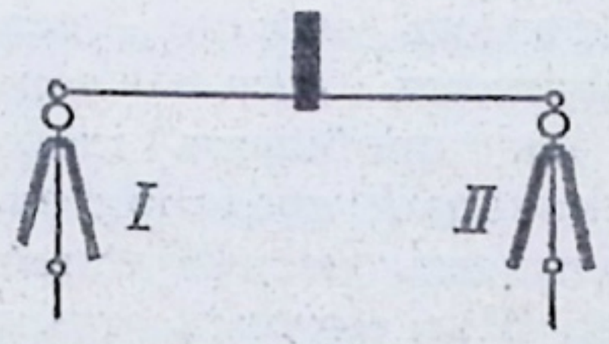
79. **Проводники, непроводники, полупроводники.** *a*) Поставимъ два электроскопа (*I* и *II* фиг. 124) на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга и одному изъ нихъ (*I*) сообщимъ электрическій зарядъ. Затѣмъ соединимъ шарики (или же крючки h, фиг. 123) электроскоповъ металлической проволокой d соотвѣтственной длины, укрѣпленной на ручкѣ изъ

шеллака (фиг. 124). Тотчасъ маятники электроскопа *II* разойдутся, а электроскопа — *I* нѣсколько опадутъ; окажется, что уголъ расхожденія маятниковъ въ обоихъ электроскопахъ, послѣ того, какъ мы соединили ихъ проволокой, сталъ одинаковъ и притомъ меньше, чѣмъ у электроскопа *I* (фиг. 125) до соединенія.

Изъ этого опыта мы узнаемъ слѣдующее. Во-первыхъ, оказывается, что электрическое состояніе можетъ передаваться отъ электроскопа *I* электроскопу *II* черезъ металлическую проволоку. Во-вторыхъ, мы замѣчаемъ, что заряженіе элек-



Фиг. 124.



Фиг. 125.

трическихъ маятниковъ *II* происходитъ на счетъ заряда маятниковъ *I*, ибо послѣ опыта расхожденіе маятниковъ *I* стало меньше и, слѣдовательно, степень ихъ электрическаго состоянія понизилась.

Опытъ дастъ тотъ-же результатъ, если мы будемъ соединять электроскопы различными металлическими проволоками (напр. желѣзными, мѣдными, цинковыми, свинцовыми, алюминіевыми и пр.), держа ихъ помощью эбонитовой ручки. Если же вмѣсто проволоки *d* возьмемъ сухую (нагрѣтую) стеклянную трубку или тонкую палочку изъ эбонита, шеллака или сургуча, или шелковинку, то зарядъ останется у маятниковъ *I*, маятники же электроскопа *II* не будутъ расходиться. Если, наконецъ, соединимъ электроскопы пеньковымъ шнуркомъ, или влажной стеклянной палочкой, или-же тонкой деревянной палочкой (всѣ они должны быть снабжены эбонитовыми ручками), то зарядъ пары *I* будетъ передаваться парѣ *II*, но медленно, такъ что потребуется нѣкоторое время, пока получится одинаковое расхожденіе маятниковъ въ обоихъ электроскопахъ, между тѣмъ, какъ черезъ металлическую проволоку передача электричества совершилась моментально.

Изъ этихъ опытовъ становится очевиднымъ, что металлы очень легко передаютъ электрическое состояніе отъ частицы къ частицѣ или, другими словами, проводятъ электри-

чество; наоборотъ, сухое стекло, смолы, эбонитъ, шелкъ и т. п. совсѣмъ не проводятъ электричества, а влажное стекло, дерево, пенька проводятъ электричество лишь постепенно. Тѣла, принадлежащія къ первой группѣ, мы называемъ поэтому **хорошими проводниками** (или просто проводниками) электричества, тѣла второй группы — **плохими проводниками** (непроводниками), а тѣла третьей группы, занимающей среднее положеніе между первыми двумя, — **полупроводниками**.

Передача электрическаго состоянія хорошими проводниками похожа на передачу тепла хорошими проводниками тепла (§ 53). Замѣчательно, что тѣла, лучше всѣхъ проводящія тепло (серебро, мѣдь), являются также и наилучшими проводниками электрическаго состоянія. Переходъ тепла отъ одного тѣла къ другому можемъ себѣ образно представить такъ, какъ будто тепло въ родѣ какого-то вещества протекаетъ черезъ проводникъ; подобно этому и при разсмотрѣніи электрическихъ явленій, чтобы образно ихъ себѣ представить, можно говорить о «теченіи электрическаго заряда» или «теченіи электричества» отъ одного тѣла къ другому. Мы, однако, никогда не должны забывать, что это лишь одинъ изъ пріемовъ наглядности, ибо о томъ, какъ происходятъ эти явленія, мы до сихъ поръ точно не знаемъ.

б) Зная о различной проводимости тѣлъ, мы легко объяснимъ себѣ нѣкоторыя дальнѣйшія явленія. Если будемъ касаться пальцемъ натертой стеклянной или эбонитовой палочки въ различныхъ мѣстахъ, то въ этихъ точкахъ прикосновенія палочка отдастъ электричество, которое перейдетъ въ палецъ; однако въ другихъ точкахъ палочка остается наэлектризованной. Если же коснемся пальцемъ въ одной точкѣ наэлектризованнаго металлическаго шара на стеклянной подножкѣ — такъ называемаго кондуктора, — то онъ весь окажется незаряженнымъ. Наоборотъ, если коснемся его въ одной точкѣ наэлектризованной палочкой, то вся его поверхность окажется наэлектризованной. (Какъ объяснить эти явленія?)

Хорошій проводникъ, окруженный непроводниками, не можетъ отдать наружу свой зарядъ; проводникъ называютъ въ такомъ случаѣ **изолированнымъ**.

Теперь понятно, зачѣмъ мы при устройствѣ выше упомянутыхъ приборовъ (напр. электрическихъ маятниковъ, электроскоповъ и т. п.) употребляемъ стеклянные, эбонитовые и шеллаковые стержни и шелковыя нити. Замѣчая, что электроскопъ довольно долгое время сохраняетъ свой зарядъ, мы должны заключить, что и атмосферный воздухъ — дурной проводникъ. Въ сыромъ воздухѣ всѣ изоляторы покрываются невидимымъ слоемъ сгустившагося водянаго пара и благодаря этому начинаютъ проводить электричество въ большей или меньшей степени, такъ что зарядъ посте-

ненно уходитъ въ землю. Такой-же тонкій слой воды дѣлаетъ проводящимъ и обыкновенное стекло и поэтому необходимо время отъ времени протирать спиртомъ стеклянныя подножки электрическихъ приборовъ, затѣмъ ихъ прогрѣвать, а при употребленіи поддерживать ихъ нѣсколько болѣе теплыми, чѣмъ окружающій воздухъ. Если наэлектризованное тѣло соединено хорошимъ проводникомъ съ влажной почвой (напр. при помощи газопроводныхъ или водопроводныхъ желѣзныхъ трубъ), то говорятъ, что оно соединено съ землей или «отведено къ землѣ».

Какіе дурные проводники окружаютъ кондукторъ? Почему кондукторъ сохраняетъ въ хорошо натопленной комнатѣ свой зарядъ часто въ теченіе многихъ часовъ, а въ классѣ, въ которомъ занимались въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, онъ совершенно разряжается черезъ нѣсколько минутъ? Какъ можно предупредить эту потерю электричества черезъ подставку?

Попробуйте объяснить слѣдующій опытъ: Намъ не удастся наэлектризовать металлическую палочку лисьимъ хвостомъ, пока мы не придѣлаемъ къ ней стеклянной ручки. Только, когда мы будемъ держать ее за эту ручку, не касаясь самого металла, мы ясно обнаружимъ появленіе заряда помощью электрическаго маятника.

Что-бы произошло въ представленномъ на фиг. 124 опытѣ, если бы мы держали металлическую проволоку *d* прямо въ рукѣ, а не за эбонитовую ручку? Къ какому разряду проводниковъ мы должны отнести наше тѣло, основываясь на произведенныхъ опытахъ?

в) Если имѣемъ два возможно одинаковыхъ электроскопа, въ родѣ изображенныхъ на фиг. 124, то можемъ точнѣе провѣрить положеніе, которое было приведено въ § 77. Зарядимъ два маятника *I* натертой стеклянной палочкой, а затѣмъ будемъ заряжать натертой эбонитовой палочкой два маятника *II* до тѣхъ поръ, пока они не разойдутся на такой-же уголъ, какъ пара *I*. Соединивъ теперь оба электроскопа металлической проволокой, которую держимъ за изолирующую ручку, убѣждаемся, что оба электроскопа разрядились. Что отсюда слѣдуетъ?

г) Многочисленными опытами установлено, что каждое изъ двухъ трущихся тѣлъ заряжается электричествомъ; при этомъ они получаютъ равные и противоположные заряды.

Такъ, если стеклянную палочку натираемъ кускомъ амальгамированной кожи, то стеклянная палочка электризуется положительно, а кожа — отрицательно. Обыкновенно электрическій зарядъ кожи черезъ наше тѣло уходитъ въ землю. Что нужно сдѣлать для того, чтобы мы могли доказать присутствіе отрицательнаго электричества на кожѣ?

80. **Потенціалъ. Емкость.** *а*) Коснемся натертой палочкой шарика простого электроскопа, изображеннаго на фиг. 123; маятники разойдутся на нѣкоторый уголъ и этимъ обнаружатъ присутствіе электрическаго заряда. Коснемся теперь шарика *K* другими мѣстами палочки; расхожденіе маятниковъ становится все больше. Итакъ, по мѣрѣ того, какъ мы сообщаемъ электроскопу новые заряды (§ 79), степень его электрическаго состоянія

постоянно возрастаетъ; въ нашемъ опытѣ мы узнаемъ возрастаніе степени электричества по увеличенію угла расхожденія маятниковъ электроскопа. Степень электрическаго состоянія, о которой мы будемъ судить по расхожденію листочковъ электроскопа назовемъ **потенціаломъ** наэлектризованнаго тѣла. Только что описанный опытъ приводитъ насъ къ заключенію, что потенціалъ нашего электроскопа увеличивается по мѣрѣ того, какъ растетъ зарядъ электроскопа.

Если сообщимъ тѣлу опредѣленное количество тепла (выраженное въ калоріяхъ), то тепловое состояніе тѣла повысится на нѣсколько градусовъ или иначе до нѣкоторой температуры. Если сообщаемъ тѣлу нѣкоторое количество электричества, то его электрическое состояніе повышается до нѣкотораго потенціала.

Если соединимъ два нагрѣтыхъ тѣла другъ съ другомъ непосредственно или же хорошимъ проводникомъ тепла, то тепло будетъ переходить съ одного тѣла на другое въ томъ случаѣ, если оба тѣла имѣютъ различную температуру. Подобно этому и электрическій зарядъ переходитъ съ одного наэлектризованнаго тѣла на другое, соприкасающееся или соединенное съ нимъ хорошимъ проводникомъ электричества, только тогда, если оба тѣла имѣютъ неодинаковый потенціалъ. Затѣмъ, какъ тепло всегда переходитъ отъ мѣстъ, имѣющихъ болѣе высокую температуру, къ мѣстамъ съ болѣе низкой температурой, такъ и электрическій зарядъ всегда переходитъ отъ мѣстъ высокаго потенціала къ мѣстамъ низкаго потенціала. Это положеніе можно обосновать слѣдующими простыми опытами: 1. Заряжаемъ каждый изъ представленныхъ на фиг. 124 электроскоповъ однороднымъ электричествомъ (напр. положительнымъ), пока оба электроскопа не дадутъ одинаковое расхожденіе маятниковъ (одинаковый потенціалъ). На мгновеніе соединимъ ихъ проволокой *d*, которую держимъ за изолирующую ручку; расхожденіе маятниковъ не измѣнилось. (Немного могутъ опасть объ пары, такъ какъ сама проволока отниметъ часть заряда, а поэтому съ уменьшеніемъ заряда уменьшается и потенціалъ электроскоповъ). 2. Если зарядимъ электроскопъ *I* положительно до значительнаго расхожденія маятниковъ (до высокаго потенціала), а электроскопъ *II* также положительно, но до болѣе слабаго расхожденія маятниковъ (болѣе низкаго потенціала) и затѣмъ соединимъ шарики электроскоповъ, то оба электроскопа укажутъ одинъ и тотъ-же (средній) потенціалъ. 3. Зарядимъ электроскопъ *I* какъ выше — положительно, а электроскопъ *II* оставимъ незаряженнымъ (съ потенціаломъ, равнымъ нулю). Послѣ соединенія оба электроскопа имѣютъ одинъ и тотъ же (средній) потенціалъ. 4. Электроскопъ *I* заряжаемъ до нѣкотораго положительнаго, а электроскопъ *II* эбонитовой палочкой до такого-же

отрицательнаго потенціала. Послѣ соединенія окажется, что оба электроскопа имѣютъ потенціалъ нуль. Итакъ, во всѣхъ этихъ случаяхъ электричество движется отъ мѣстъ высокаго потенціала къ мѣстамъ болѣе низкаго потенціала, если будемъ считать, что положительный потенціалъ выше нулевого, а этотъ послѣдній выше отрицательнаго *).

Какъ $+30^0$ Ц. обозначаетъ болѣе высокую степень топлового состоянія (болѣе высокую температуру), чѣмъ 0^0 Ц., а 0^0 Ц. болѣе высокую степень теплового состоянія (болѣе высокую температуру) чѣмъ -30^0 Ц., такъ и степень электрическаго состоянія положительно заряженнаго тѣла (положительный потенціалъ) мы считаемъ выше степени электрическаго состоянія незаряженнаго тѣла (нулевой потенціалъ), а эту въ свою очередь выше степени электрическаго состоянія отрицательно заряженнаго тѣла (отрицательный потенціалъ).

Сравните опыты 1—4 съ тѣмъ, что получилось бы при соприкосновеніи двухъ одинаковыхъ мѣдныхъ шаровъ, изъ которыхъ 1) шаръ *I* и *II* имѣютъ температуру $+40^0$ Ц.; 2) шаръ *I* имѣетъ $+40^0$, шаръ *II* — $+10^0$; 3) шаръ *I* — $+40^0$, шаръ *II* — 0^0; 4) шаръ *I* — $+40^0$, шаръ *II* — -40^0. Какой конечный результатъ получится въ каждомъ изъ этихъ опытовъ, если предположимъ, что потеря тепла наружу устранена.

б) Соединимъ проволокой одинъ изъ двухъ электроскоповъ (фиг. 124) съ изолированнымъ кондукторомъ (§ 79). Будемъ заряжать оба электроскопа до одинаковаго потенціала; мы убѣждаемся, что для этого нужно сообщить электроскопу, соединенному съ кондукторомъ, значительно большее количество электрическаго заряда, чѣмъ другому. Мы говоримъ поэтому, что **электрическая вмѣстимость** или **электрическая емкость** (электроемкость) этого электроскопа значительно больше.

И въ этомъ случаѣ мы можемъ привести подходящіе примѣры изъ ученія о теплотѣ. Для того, чтобы повысить температуру мѣднаго шара вѣсомъ въ 10 **кгр** отъ 0^0 до $+40^0$ Ц., намъ нужно большее (въ 10 разъ) количество тепла, чѣмъ для нагрѣванія до той-же температуры мѣднаго шара вѣсомъ въ 1 **кгр.** Теплоемкость перваго тѣла, слѣдовательно, больше. Если, соединивъ электроскопъ *I* съ большимъ кондукторомъ, зарядимъ его положительно, а электроскопъ *II* зарядимъ до одинаковаго по величинѣ, но отрицательнаго потенціала, то послѣ соединенія ихъ проволокой съ изолированной ручкой окажется, что оба электроскопа будутъ имѣть положительный зарядъ. Что это доказываетъ?

Электрическая емкость шарового кондуктора увеличивается съ увеличеніемъ его радіуса, это доказано опытами и слѣдуетъ изъ теоретическихъ соображеній. Если увеличимъ радіусъ такого кондуктора въ 2, 3, 4 раза, то и его электрическая емкость увеличится въ 2, 3, 4 раза.

81. **Распространеніе заряда по поверхности проводника.** Соединимъ два шаровыхъ кондуктора, одинъ полый, а другой сплошной, каждый съ отдѣльнымъ электроскопомъ и попробуемъ за-

---

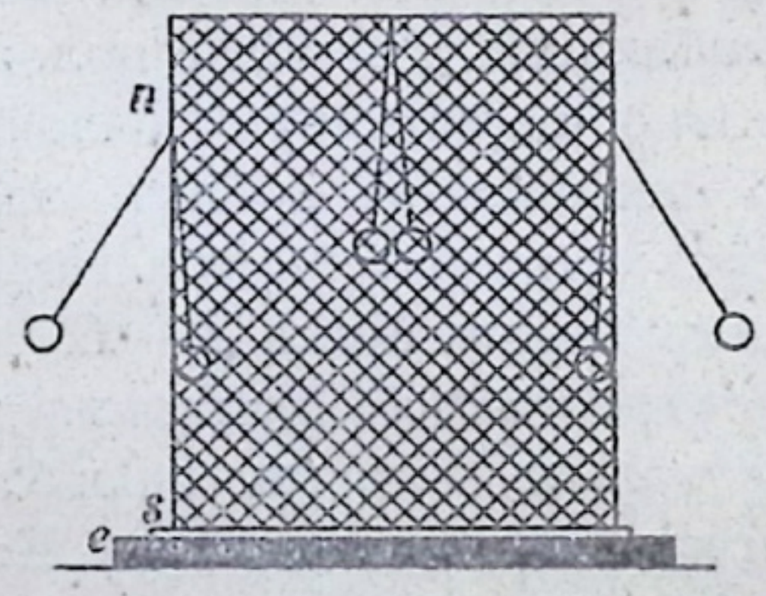
*) Мы дѣлаемъ тутъ то же предположеніе, что и въ ученіи о теплотѣ.

рядить оба кондуктора до одного и того-же потенціала. Окажется, что это достигается затратой одинаковаго электрическаго заряда какъ для полаго, такъ и для массивнаго кондуктора, несмотря на большій вѣсъ послѣдняго. Лемонье, который первый подмѣтилъ (1752) этотъ фактъ, заключилъ отсюда, что **электрическій зарядъ** распространяется только **по поверхности** тѣлъ.

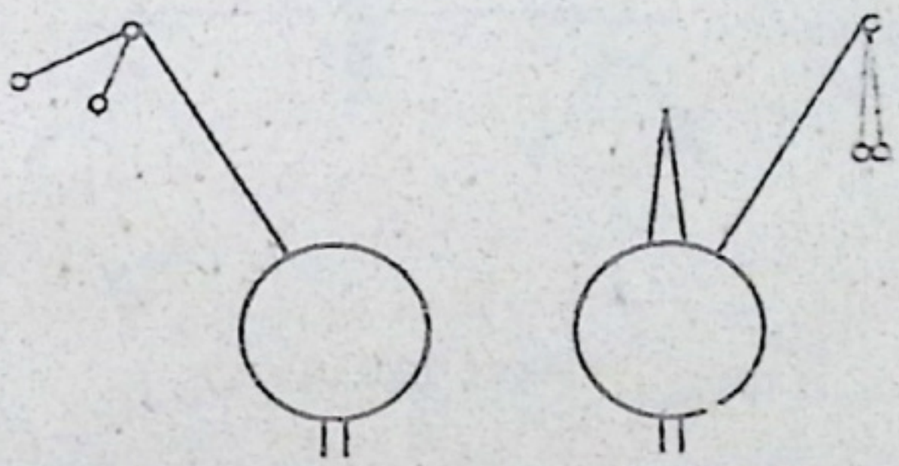
Слѣдующее соображеніе убѣждаетъ насъ въ томъ, что такъ и должно быть. На хорошо проводящемъ кондукторѣ, который сперва представимъ себѣ сплошнымъ, электрическій зарядъ, благодаря его хорошей проводимости—легко перемѣщается. Такъ какъ каждыя двѣ частицы одноименнаго электрическаго заряда отталкиваются другъ отъ друга и стремятся разойтись какъ можно дальше, то онѣ не могутъ оставаться внутри кондуктора и какъ бы убѣгаютъ на поверхность. Поэтому безразлично, беремъ ли мы полый или сплошной кондукторъ; его электроемкость отъ этого не зависитъ, она измѣняется только съ измѣненіемъ радіуса шара (§ 80).

Этотъ фактъ былъ доказанъ многочисленными опытами. Такъ, знаменитый физикъ Фарадей устанавливалъ изолированно большой ящикъ въ формѣ куба и самъ помѣщался внутри, держа въ рукѣ чувствительный электроскопъ. Ящикъ затѣмъ сильно электризовали. Однако, Фарадей не обнаруживалъ внутри никакихъ слѣдовъ электрическаго заряда.

Подобную провѣрку въ небольшихъ размѣрахъ можно произвести, какъ представлено на фиг. 126. На эбонитовой пластинкѣ *c*, прикрытой сверху олово-



Фиг. 126.



Фиг. 127.

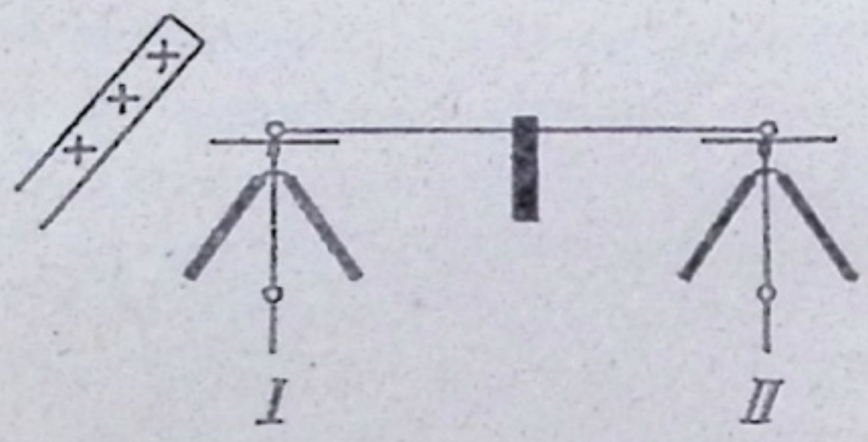
вянной бумагой *s*, стоитъ цилиндръ *n* изъ проволочной сѣтки, къ которому привѣшены внутри и снаружи электрическіе маятники. Если сильно наэлектризуемъ проволочную сѣтку, то отклонятся только наружные маятники, а внутренніе останутся въ покоѣ.

82. **Свойство остроконечій.** Возьмемъ два кондуктора на изолирующихъ подставкахъ, соединимъ каждый проводникомъ съ отдѣльнымъ электроскопомъ (фиг. 127) и поставимъ ихъ на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга. На одномъ изъ кондукторовъ укрѣпимъ заостренную проволоку (иглу) такъ, чтобы остріе обра-

щено было вверхъ (или въ сторону, или внизъ). Попробуемъ сильно зарядить оба кондуктора, касаясь ихъ много разъ натертой палочкой. Убѣдимся, что зарядить кондукторъ, снабженный остріемъ, невозможно. Въ то время, какъ первый кондукторъ (безъ острія) быстро получаетъ сильный зарядъ, обнаруживаемый электроскопомъ, во второмъ кондукторѣ электричество какъ-бы вытекаетъ изъ острія въ воздухъ. И въ первомъ кондукторѣ электричество стремится уйти въ воздухъ вслѣдствіе отталкиванія одноименныхъ зарядовъ; однако это стремленіе, вслѣдствіе симметричной формы шара, одинаково во всѣхъ мѣстахъ. Наоборотъ, какъ это показалъ опытъ, тамъ, гдѣ есть острія (углы или ребра) стремленіе заряда убѣгать съ поверхности тѣла значительно сильнѣе, чѣмъ въ плоскихъ частяхъ поверхности. Поэтому, если хотимъ собрать на проводникѣ значительные заряды, мы должны устранить на немъ всякія острія (углы, ребра).

Подобно остріямъ разряжаютъ кондукторъ также пламя и столбы дыма, если они соединены съ нимъ проводникомъ, такъ какъ и въ нихъ электрическій зарядъ легко вытекаетъ въ воздухъ.

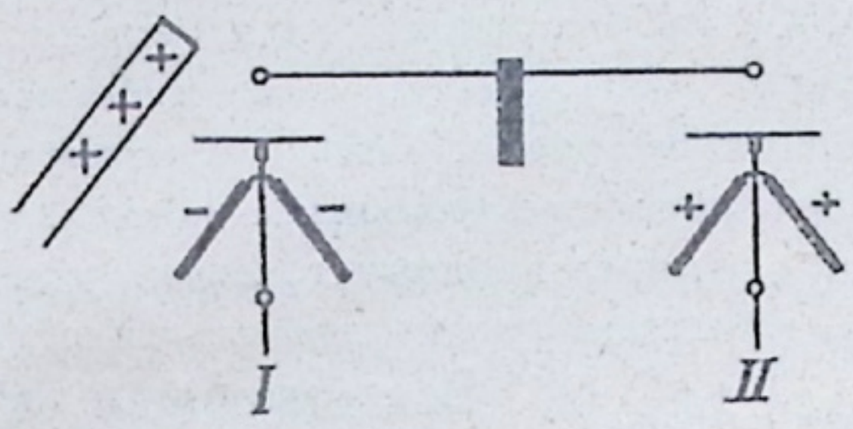
83. **Электрическое вліяніе (электростатическая индукція).** *а*) Наложимъ на пластинки двухъ электроскоповъ проволоку съ изолирующей ручкой (фиг. 128) такъ, чтобы они образовали какъ бы одинъ проводникъ. Если приблизимъ къ нимъ положительно заряженную палочку, то маятники въ обоихъ электроскопахъ разойдутся. Итакъ, нашъ проводникъ *I — II* наэлектризовался благодаря тому только, что мы приблизили заряженное тѣло. Если теперь удалимъ стеклянную палочку, то расхожденіе маятниковъ въ обоихъ электроскопахъ исчезнетъ. Отсюда слѣдуетъ: заряженное электричествомъ тѣло можетъ уже на нѣкоторомъ разстояніи наэлектризовать незаряженный проводникъ; однако, оно не передаетъ ему электрическаго заряда, такъ какъ проводникъ окажется незаряженнымъ, какъ только мы удалимъ электризующее тѣло.



Фиг. 128.

б) Повторимъ этотъ опытъ съ тѣмъ измѣненіемъ, что, пока еще стеклянная палочка находится вблизи *I*, мы снимемъ соеди-

нительную проволочку. Когда удалимъ стеклянную палочку, маятники въ *I* и *II* окажутся наэлектризованными (фиг. 129); при этомъ маятники электроскопа *I*, если приблизить къ нимъ положительно заряженную стеклянную палочку, къ ней притянутся, а маятники электроскопа *II* оттолкнутся отъ нея. Слѣдовательно, электроскопъ *I* получилъ отрицательный зарядъ, а электроскопъ *II* — положительный. Оба заряда окажутся въ одинаковомъ количествѣ, ибо при соединеніи металлической проволокой электроскоповъ *I* и *II* всѣ маятники опадутъ, т. е. заряды взаимно уничтожатся.



Фиг. 129.

в) Повторяя опытъ въ третій разъ, раньше чѣмъ удалить стеклянную палочку, коснемся пальцемъ въ какомъ нибудь мѣстѣ проводника *I — II*, то при этомъ маятники у болѣе удаленнаго электроскопа опадутъ. Снимемъ теперь отводящую электричество руку съ проводника, а затѣмъ удалимъ электризующее тѣло; отрицательный зарядъ электроскопа *I* распространится по всему проводнику; обѣ пары электрическихъ маятниковъ расходятся, имѣя отрицательный зарядъ.

г) Итакъ, наши опыты показываютъ, что въ каждомъ тѣлѣ имѣются оба рода электрическихъ зарядовъ въ одинаковомъ количествѣ, такъ что, будучи соединены, они взаимно уничтожаются. Если приблизимъ наэлектризованное тѣло, то оно можетъ раздѣлить въ хорошемъ проводникѣ оба заряда такимъ образомъ, что одноименный зарядъ оттолкнется и уйдетъ въ наиболѣе удаленныя отъ наэлектризованнаго тѣла части проводника, а разноименный притянется и будетъ удержанъ въ ближайшихъ частяхъ. Оттолкнутый одноименный зарядъ можно увести; наоборотъ, притянутый разноименный зарядъ нельзя увести, пока остается вблизи электризующее тѣло; онъ является въ теченіе этого времени какъ-бы связаннымъ.

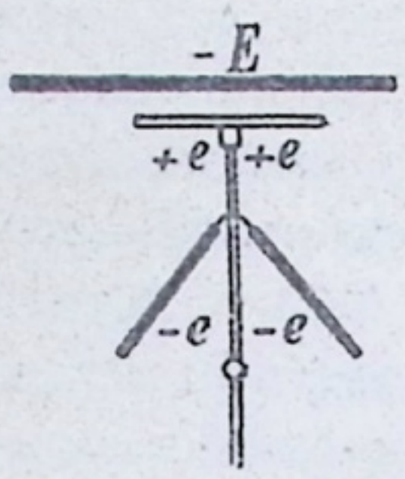
Подобное электризованіе тѣла другимъ наэлектризованнымъ, находящимся отъ него на нѣкоторомъ разстояніи, называется **электризованіемъ черезъ вліяніе** или **электростатической индукціей**..

Какія сходныя явленія оказываются въ электричествѣ и въ магнитизмѣ?

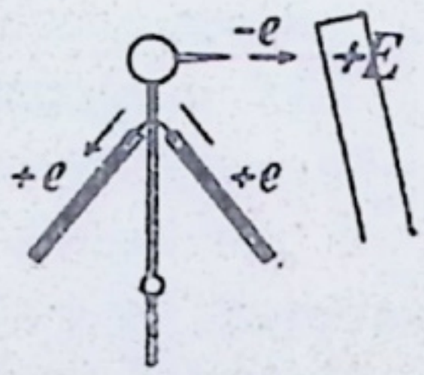
Почему наэлектризованное тѣло сперва притягиваетъ другое легкое тѣло,

а послѣ соприкосновенія отталкиваетъ его? Объясните слѣдующее положеніе: «Электрическому притяженію всегда предшествуетъ электризованіе чрезъ вліяніе».

Если приблизимъ на нѣкоторое разстояніе наэлектризованное тѣло, напр. натертую каучуковую пластинку E (фиг. 130), къ пластинкѣ электроскопа, то маятники его разойдутся. Какъ это объяснить? Что будетъ, если коснемся на мгновеніе пальцемъ пластинки электроскопа въ то время, какъ электризующее тѣло еще находится вблизи? Что будемъ наблюдать, если удалимъ затѣмъ электризующее тѣло?



Фиг. 130.



Фиг. 131.

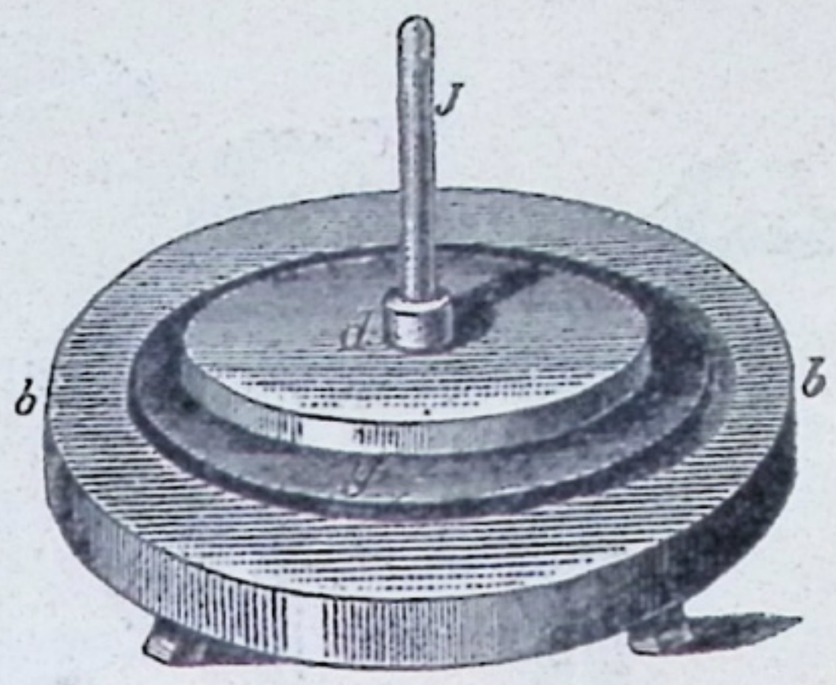
84. **Всасывающее дѣйствіе остріевъ.** Снабдимъ электроскопъ остріемъ, которое вставляемъ въ сдѣланное для этой цѣли въ шарикѣ электроскопа отверстіе (фиг. 131). Если приблизимъ къ острію наэлектризованную стеклянную палочку, маятники разойдутся; ихъ уголъ расхожденія будетъ увеличиваться, если будемъ постепенно проводить мимо острія стеклянной палочкой. Опредѣлимъ знакъ заряда электроскопа, приближая къ нему стеклянную палочку; онъ окажется положительнымъ. При повтореніяхъ этого опыта зарядъ стеклянной палочки будетъ все убывать.

На первый взглядъ кажется, что снабженный остріемъ электроскопъ какъ бы всасываетъ въ себя положительный зарядъ со стеклянной палочки; поэтому это явленіе иногда называютъ **„всасывающимъ дѣйствіемъ острія“**. Чтобы правильно объяснить это явленіе, вспомнимъ, что мы узнали объ электризаціи чрезъ вліяніе. Наэлектризованная стеклянная палочка вызываетъ раздѣленіе противоположныхъ электричествъ въ электроскопѣ, при чемъ $-e$ притягивается къ острію, а $+e$ отталкивается въ маятники. Съ острія $-e$ стекаетъ (§ 82) и на электроскопѣ остается только $+e$.

85. **Электрофоръ.** На электризованіи чрезъ вліяніе основано также устройство прибора, называемаго **электрофоромъ**, при помощи котораго мы можемъ получать болѣе значительныя количества электричества, чѣмъ путемъ натиранія стеклянныхъ или смоляныхъ палочекъ. Онъ состоитъ обыкновенно изъ эбонитоваго круга g (фиг. 132), положеннаго на проводящую (обклеенную оловянной бумагой) подставку bb. На эбонитовую пластинку кладется металлическій кругъ d съ закругленными краями, снабженный изолирующей рукояткой J. Эбонитовый кругъ можетъ быть замѣненъ

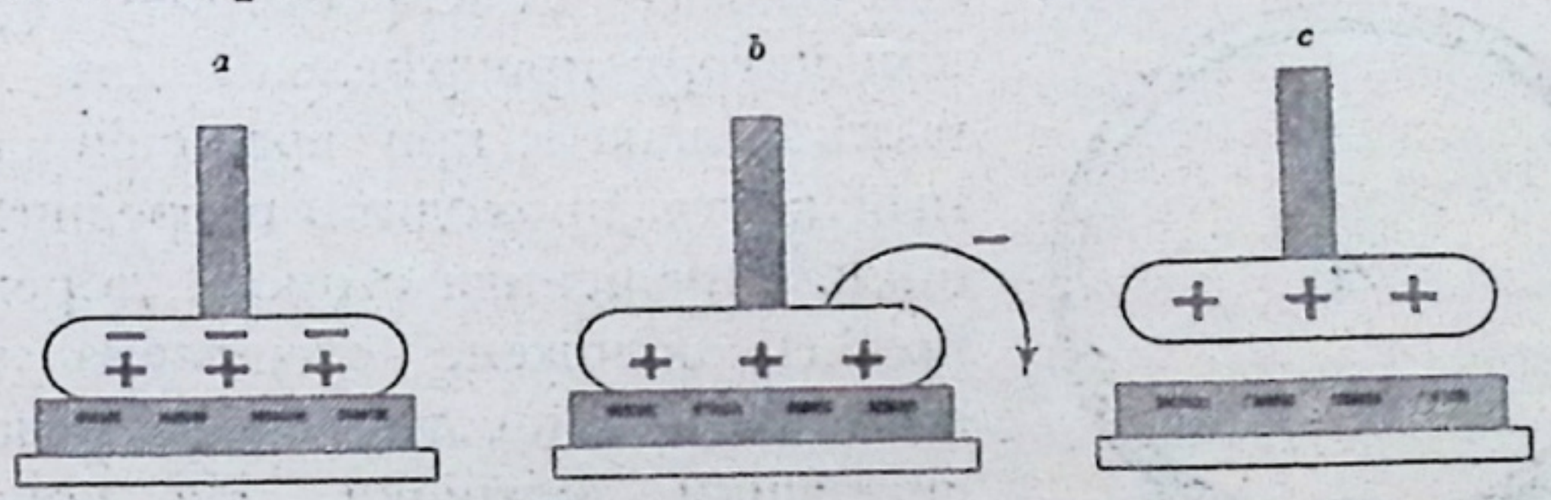
пластиной, сдѣланной изъ канифоли, шеллака и венеціанскаго терпентина; эти вещества расплавляются, тщательно перемѣшиваются и выливаются въ металлическую форму.

Станемъ ударять по эбонитовому кругу (или смоляной пластинѣ) электрофора лисьимъ хвостомъ или кошачьимъ мѣхомъ. При этомъ кругъ зарядится отрицательно. Наложимъ на него затѣмъ металлическую пластинку, держа ее за изолирующую ручку *J* и потомъ снимемъ; она окажется ненаэлектризованной. Наложимъ ее снова и коснемся пальцемъ; если теперь снимемъ пластинку, то, приближая къ ней палецъ, замѣтимъ проскакивающую въ палецъ искру. Опытъ мы можемъ повторить много разъ безъ замѣтнаго ослабленія электрическаго дѣйствія.



Фиг. 132.

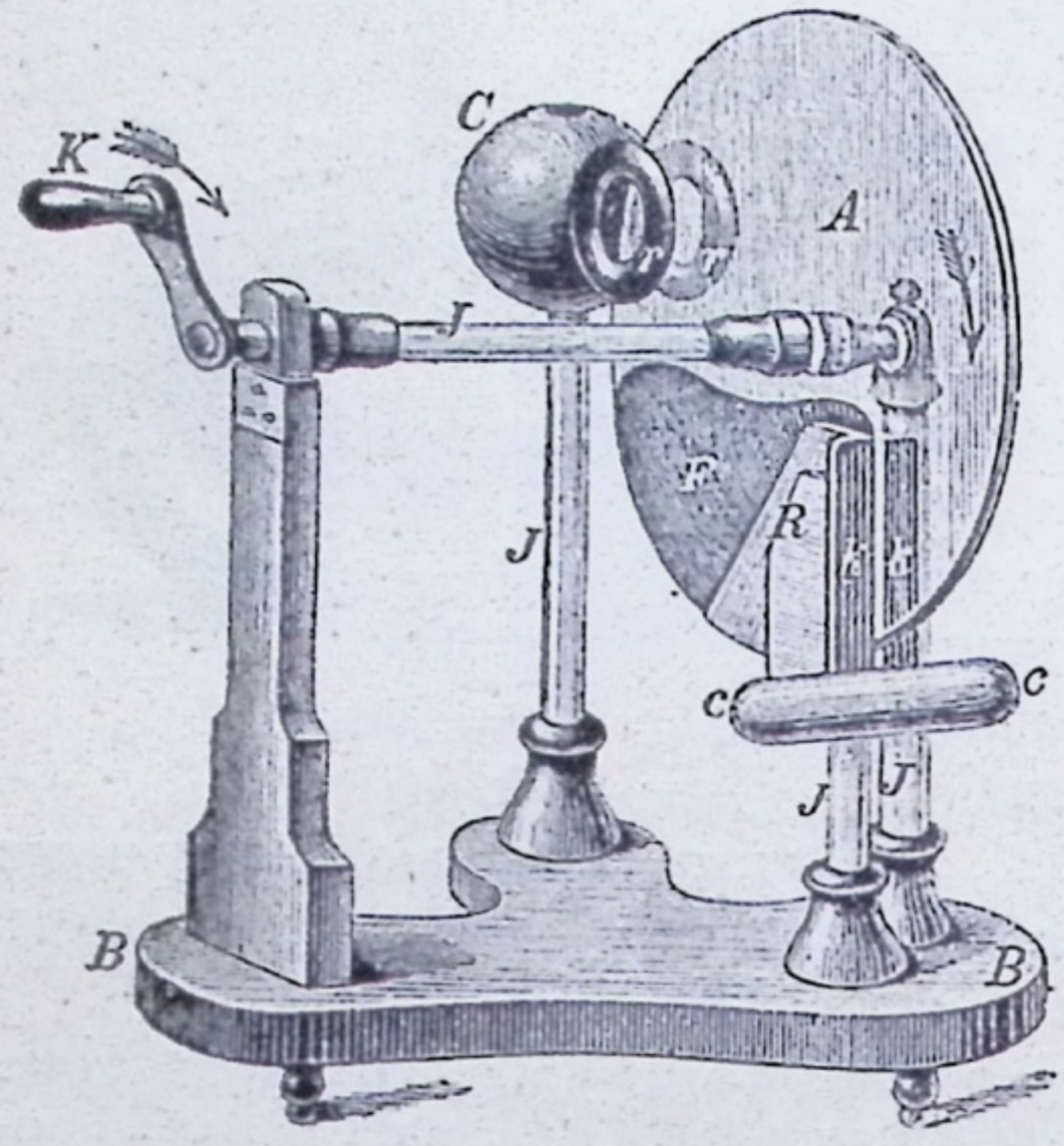
Въ металлической пластинкѣ содержатся оба электричества. Отрицательный зарядъ эбонитоваго круга раздѣляетъ ихъ, притягивая $+e$ и отталкивая $-e$ (фиг. 133*a*). Касаясь пальцемъ проводника, мы уводимъ съ него $-e$, а $+e$ удерживается $-e$ эбонитоваго круга (фиг. 133*b*). Когда же снимемъ металлическій кругъ, онъ окажется заряженнымъ положительно (фиг. 133*c*). Отрицательный зарядъ эбонитоваго круга дѣйствуетъ, такимъ образомъ, только чрезъ вліяніе и поэтому самъ почти не уменьшается, хотя бы мы и много разъ электризовали металлическій кругъ, накладывая его, касаясь пальцемъ и снимая. Когда верхній кругъ наложенъ, электрофоръ можетъ сохранять при благопріятныхъ условіяхъ свой зарядъ по цѣлымъ мѣсяцамъ; этимъ объясняется и его названіе (электрофоръ значитъ носитель электричества). Онъ былъ изобрѣтенъ Вольтой въ 1775 г.



Фиг. 133.

86. **Электрическая машина.** *a)* Чтобы получать электричество непрерывно и въ значительномъ количествѣ, пользуются

электрической машиной (фиг. 134). Главныя ея части: 1) натираемый кругъ, 2) натирающія подушки, 3) накопляющій электричество кондукторъ.

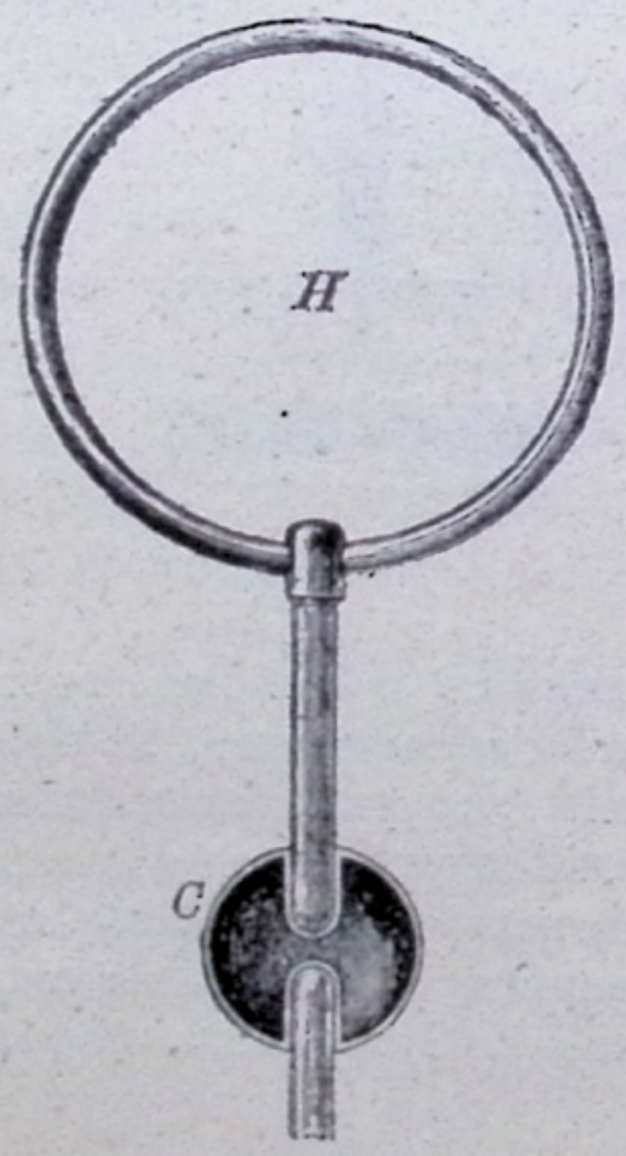


Фиг. 134.

Стеклянный кругъ *A* укрѣпленъ на изолирующей оси *J*, вращаемой посредствомъ рукоятки *K*. Натирающія подушки *R* представляютъ деревянныя дощечки *k*, обтянутыя амальгамированной кожей, и прижатыя плотно къ стеклу пружинами.

Чтобы помѣшать электрическому заряду уходить съ круга въ воздухъ, натирающія подушки снабжаются въ видѣ продолженія крыльями *F* изъ навощенной тафты, которыя прикрываютъ часть стекляннаго круга. Съ подушками металлически соединенъ латунный цилиндръ *c* на стеклянной ножкѣ *J*.

Кондукторомъ служитъ полый латунный шаръ *C* на стеклянной ножкѣ *J*. Со стороны круга къ кондуктору прикрѣплены два деревянныхъ кольца *r*; при вращеніи стеклянный кругъ проходитъ посрединѣ между ними. Внутренняя сторона деревянныхъ колецъ обложена станіолемъ (тонкимъ листовымъ оловомъ) и снабжена металлическими остріями. На кондукторѣ можно кромѣ того укрѣпить сверху деревянное кольцо *H* (фиг. 135), внутри котораго проходитъ скрученная спирально желѣзная проволока. Всѣ части машины укрѣплены на толстой доскѣ *B*.



Фиг. 135.

Описанная машина была построена Винтеромъ въ Вѣнѣ и до сихъ поръ часто примѣняется.

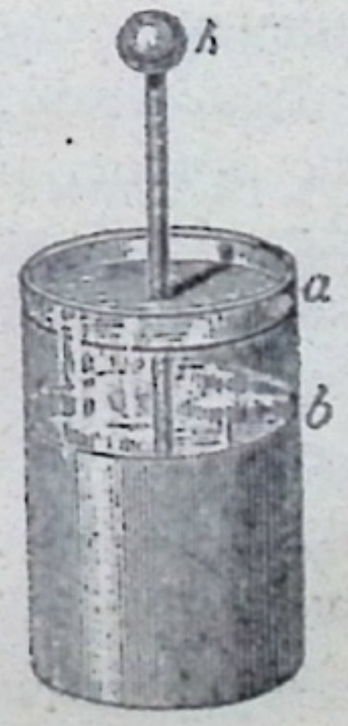
б) Если начнемъ рукояткой вращать стеклянный кругъ, отведя предварительно латунный цилиндръ *c* къ землѣ, то кругъ зарядится положительно, а натирающія подушки отрица-

тельно (ср. § 79), при чемъ $-e$ тотчасъ уйдетъ въ землю. Зарядъ $+e$ на кругѣ по индукціи электризуетъ кондукторъ C, притягивая его $-e$, которое и уйдетъ съ остріевъ на кругъ и соединится съ находящимся тамъ положительнымъ зарядомъ. Такимъ образомъ, оставшееся на кондукторѣ $+e$ станетъ свободнымъ (Ср. съ этимъ опытъ, представленный на фиг. 131)!

в). Если приблизимъ къ заряженному кондуктору палецъ, то между ними проскочитъ довольно сильная искра. Зарядъ кондуктора $+e$ притягиваетъ къ себѣ въ ближайшую часть пальца $-e$ и отталкиваетъ $+e$. При достаточно маломъ разстояніи между пальцемъ и кондукторомъ противоположныя электричества, ($+e$ кондуктора и $-e$ пальца) соединяются черезъ отдѣляющій ихъ (изолирующій) слой воздуха, образуя электрическую искру. Наибольшее разстояніе, черезъ которое можетъ перескочить искра съ кондуктора на другое тѣло, называютъ длиной искры для данной машины. Длина искры тѣмъ значительнѣе, чѣмъ выше степень электрическаго состоянія кондуктора (его потенціалъ). Деревянное кольцо H (фиг. 135) служитъ для усиленія дѣйствія искры.

Если желаемъ собрать $-e$, то соединяемъ металлически съ землей вмѣсто цилиндра c кондукторъ C; $-e$ не можетъ уходить въ землю и собирается на металлическомъ цилиндрѣ c.

Въ электрической машинѣ мы получаемъ электричество путемъ электризаціи чрезъ вліяніе и при помощи дѣйствія остріевъ и затрачиваемъ при этомъ нѣкоторую механическую работу (при вращеніи стекляннаго круга). Часть механической работы тратится на преодолѣніе механическаго тренія между стекляннымъ кругомъ и подушками и для образованія электричества считается потерянной. Существуютъ другого рода электрическія машины, въ которыхъ незначительный начальный зарядъ безъ механическаго тренія, а только благодаря индукціи и дѣйствію остріевъ постепенно все усиливается. Мы не будемъ здѣсь подробно описывать эти, такъ называемыя **электрофорныя машины**; упомянемъ только, что онѣ даютъ значительно большія количества электричества, чѣмъ машина Винтера, и основаны на тѣхъ же основаніяхъ, какъ и электрофоръ. Уже при помощи послѣдняго мы можемъ, затрачивая механическую работу (когда поднимаемъ крышку), получить почти неограниченныя количества электричества, между тѣмъ, какъ имѣли лишь сравнительно небольшой начальный зарядъ смоляного круга.

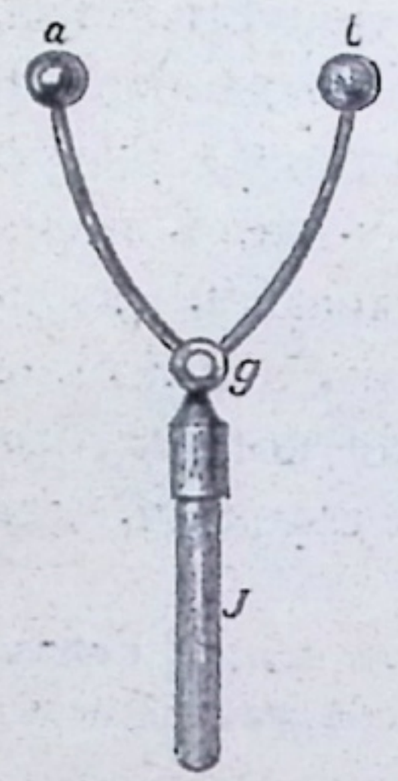


Фиг. 136.

87. **Лейденская банка** *а*). Цилиндрическая стеклянная банка (фиг. 136) или широкогорлая бутылка покрыта снаружи и внутри до высоты b оловяннымъ листомъ; оставшаяся свободной часть банки шириной въ нѣсколько центиметровъ покрывается слоемъ

шеллака или сургуча. Черезъ картонный кружекъ, вставленный у a, (или черезъ пробку въ широкогорлой бутылкѣ) проходитъ металлическій стержень, который наверху оканчивается металлическимъ шарикомъ h, а внизу металлически соединенъ съ внутренней оловянной обкладкой. Подобный приборъ называютъ **лейденской банкой.**

Держа въ рукѣ лейденскую банку за наружную обкладку, коснемся ея шарикомъ кондуктора электрической машины и будемъ вращать машину нѣкоторое время. Очевидно, положительный электрическій зарядъ переходитъ съ кондуктора машины на шарикъ k и оттуда на внутреннюю обкладку банки. Поставимъ затѣмъ банку на столъ, возьмемъ разрядникъ (фиг. 137), (т. е. два металлическихъ стержня съ шариками на концахъ, соединенныхъ при помощи шарнира между собой у g и укрѣпленныхъ на стеклянной ручкѣ J) и, приложивъ одинъ изъ его шариковъ, напр. a къ наружной обкладкѣ, станемъ приближать другой — b къ шарику h лейденской банки. Между b и h при достаточномъ ихъ сближеніи проскакиваетъ блестящая искра, сопровождаемая громкимъ трескомъ въ родѣ выстрѣла, и заряженная банка оказывается разряженной.



Фиг. 137.

б). Описанныя явленія объясняются слѣдующимъ образомъ: зарядъ $+e$ переходитъ съ кондуктора электрической машины на внутреннюю обкладку банки и чрезъ вліяніе вызываетъ раздѣленіе зарядовъ на внѣшней обкладкѣ, при чемъ притягивается (связывается) $-e$, а $+e$ отталкивается черезъ руку или какой нибудь иной проводникъ. Такъ какъ $+e$ внутренней и $-e$ внѣшней обкладки взаимно связываютъ другъ друга, то съ кондуктора можетъ перейти на внутреннюю обкладку новый зарядъ $+e$. Онъ снова чрезъ вліяніе вызываетъ раздѣленіе электричествъ на внѣшней обкладкѣ, притягиваетъ $-e$ и отталкиваетъ $+e$ и т. д. Переходъ $+e$ съ кондуктора прекратится только тогда, когда потенціалъ свободнаго электричества на кондукторѣ и на внутренней обкладкѣ сравняются.

Это произойдетъ по слѣдующей причинѣ: $+e$ внутренней обкладки связываетъ не такое же количество $-e$ на внѣшней обкладкѣ, а нѣсколько меньшее; точно такъ же и $-e$ внѣшней обкладки не можетъ связать равное ему количе-

ство $+e$ на внутренней обкладкѣ, а лишь нѣсколько меньшее. Поэтому на внутренней обкладкѣ нѣкоторая часть $+e$ остается свободной.

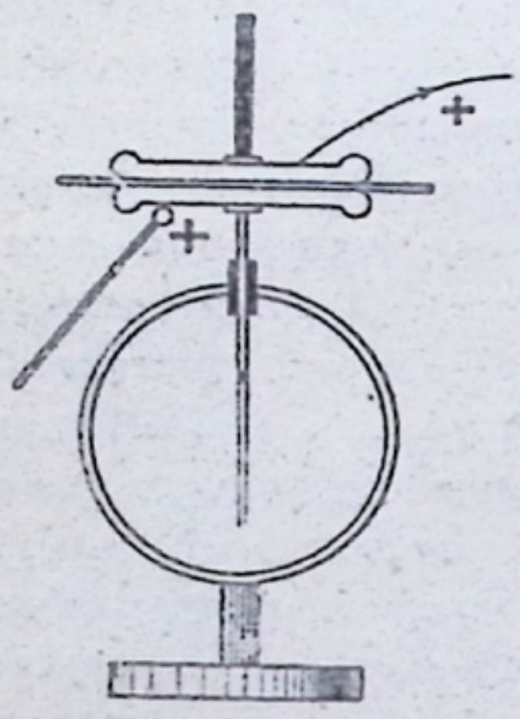
Пока эта свободная часть $+e$ на внутренней обкладкѣ не имѣетъ того же потенціала, какъ $+e$ на кондукторѣ, съ послѣдняго будетъ переходить на нее $+e$. Когда же равенство потенціаловъ установится, переходъ электричества прекратится; тогда говорятъ: лейденская банка заряжена.

Чтобы нагляднѣе представить себѣ этотъ процессъ, предположимъ, что на внутренней обкладкѣ, когда она одна соединена съ кондукторомъ, находится опредѣленный электрическій зарядъ. Скажемъ, напр., что на ней находится 100 положительныхъ единицъ заряда. Предположимъ затѣмъ, что они въ состояніи связать только $^9/_{10}$, т. е. 90 отрицательныхъ единицъ электричества на внѣшней обкладкѣ; тогда эти 90 отрицательныхъ единицъ электричества въ свою очередь могутъ связать только $^9/_{10}$ отъ 90, т. е. 81 положительную единицу электричества на внутренней обкладкѣ; тамъ останется поэтому изъ 100 начальныхъ единицъ электричества свободными только $100 - 81 = 19$. Теперь съ кондуктора снова притекаетъ $+e$; явленіе повторяется, затѣмъ еще разъ и т. д. Послѣ второго заряженія на внутренней обкладкѣ останется $2 \times 19 = 38$, послѣ третьяго — $3 \times 19 = 57$, послѣ четвертаго — $4 \times 19 = 76$, послѣ пятаго — $5 \times 19 = 95$ свободныхъ единицъ электричества, т. е. почти столько единицъ свободнаго электричества, сколько внутренняя обкладка могла съ начала получить (а именно 100 единицъ). Поэтому полный шестой зарядъ не можетъ перейти на нее; банка уже заряжена. Величину связываемой части электрическаго заряда мы въ нашемъ примѣрѣ приняли равной $^9/_{10}$; вообще же она зависитъ отъ толщины и рода вещества изолирующаго слоя между обкладками; слишкомъ тонкимъ его однако нельзя брать, такъ какъ иначе накопленные съ обѣихъ сторонъ разнородные электрическіе заряды могутъ пробить изоляторъ и привести банку въ негодность.

в) Лейденская банка разрядится, лишь только мы дадимъ возможность соединиться противоположнымъ электричествамъ ея обкладокъ. Чѣмъ больше лейденская банка, тѣмъ большимъ количествомъ электричества ее можно зарядить, т. е. тѣмъ больше ея электрическая емкость и тѣмъ сильнѣе разрядъ. Искра лейденской банки большой емкости имѣетъ яркій блескъ, сопровождается сильнымъ трескомъ, однако она можетъ перескочить лишь черезъ небольшое разстояніе. Наоборотъ, искра электрической машины менѣе ярка, сопровождается не столь рѣзкимъ трескомъ, но зато имѣетъ сравнительно большую длину. Въ первомъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ соединеніемъ большихъ количествъ электричества при меньшей разницѣ потенціаловъ, а во второмъ — съ соединеніемъ небольшихъ количествъ электричества при очень большой разницѣ потенціаловъ.

Вмѣсто одной большой лейденской банки часто берутъ нѣсколько меньшихъ, которыя тогда по мѣрѣ надобности употребляются отдѣльно или вмѣстѣ. Если желаютъ соединить нѣсколько банокъ, то соединяютъ металлически ихъ наружныя обкладки (напр. ставятъ всѣ банки въ ящикъ, обклеенный внутри листовымъ оловомъ), и соединяютъ ихъ металлическіе шарики толстой проволокой. Такимъ образомъ, всѣ внѣшнія обкладки соединены между собой хорошимъ проводникомъ электричества и точно такъ же всѣ внутреннія. Подобное соединеніе лейденскихъ банокъ называютъ батареей. Такъ какъ при помощи лейденскихъ банокъ можно собрать сравнительно большія количества электричества, то ихъ называютъ также **конденсаторами** (сгустителями электричества).

г) На электроскопъ съ золотыми листочками насажена круглая металлическая пластинка (фиг. 138), на которую наложена другая такая же пластинка съ изолирующей ручкой, отдѣленная отъ первой только тонкимъ листомъ пропитанной параффиномъ бумаги *). Если отведемъ къ землѣ верхнюю пластинку, а нижней коснемся слабо наэлектризованнымъ тѣломъ, и затѣмъ удалимъ это тѣло и снимемъ верхнюю пластинку, то листки электроскопа разойдутся значительно больше, чѣмъ если бы мы прямо коснулись заряженнымъ тѣломъ пластинки электроскопа. Итакъ, двѣ такія пластинки съ промежуточнымъ изолирующимъ слоемъ также представляютъ собой конденсаторъ, и его называютъ „плоскимъ конденсаторомъ“. Такой электроскопъ съ конденсаторомъ можетъ служить для обнаруженія электрическихъ зарядовъ, имѣющихъ очень низкій потенціалъ.



Фиг. 138.

88. **Дѣйствія электрическаго заряда.** Изъ многочисленныхъ опытовъ, которые можно продѣлать съ электрической машиной (частью въ соединеніи съ лейденскими банками) приведемъ наиболѣе поучительные, размѣстивъ ихъ по группамъ.

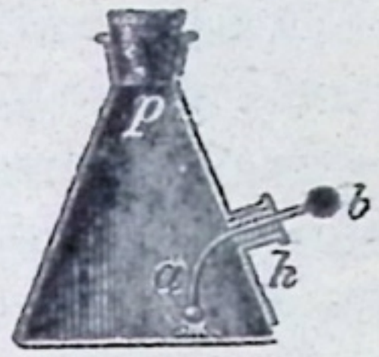
а). Свѣтовыя дѣйствія. Какъ мы упоминали выше (§ 86), $+e$ кондуктора чрезъ вліяніе возбуждаетъ въ приближенномъ тѣлѣ, напр. пальцѣ, въ ближайшей части $-e$ и затѣмъ соединяется съ нимъ чрезъ воздухъ. При этомъ соединеніи $+e$ и $-e$ чрезъ воздухъ и появляется электрическая искра, сопровождаемая свѣтовымъ явленіемъ. Искра бываетъ по большей части бѣловато-фіолетоваго цвѣта и состоитъ какъ бы изъ нѣсколькихъ вѣтвей (фиг. 139).

*) Или тонкимъ слоемъ шеллака.

Особенно красиво появленіе электрической искры, проскакивающей по стеклянной трубкѣ, на которой наклеены маленькіе ромбы изъ листового олова такъ, что между каждыми двумя сосѣдними ромбами остается небольшой промежутокъ; если соединимъ одинъ конецъ трубки съ натирающими подушками, а другой съ кондукторомъ, то въ темнотѣ увидимъ появленіе искры въ видѣ блестящей линіи на трубкѣ. Особенно красивы эти явленія электрическаго разряда въ гейслеровскихъ трубкахъ; такъ называютъ стеклянныя трубки различной формы, наполненныя очень разрѣженнымъ газомъ, проходя черезъ который искра является въ видѣ цвѣтного свѣченія.

б) **Тепловыя дѣйствія.** Впустимъ въ жестяную бутылку (фиг. 140) каплю сѣрнистаго углерода и быстро закупоримъ ее: если теперь, держа бутылку въ рукѣ, дадимъ проскочить искрѣ

Фиг. 139.



Фиг. 140.

съ кондуктора на шарикъ *b* бутылки, то пробка съ сильнымъ трескомъ вылетитъ изъ горлышка бутылки. Въ тотъ моментъ, когда проскакиваетъ искра съ кондуктора на шарикъ *b*, внутри бутылки проскакиваетъ искра между шарикомъ *a*, соединеннымъ проволокой съ шарикомъ *b*, и дномъ бутылки и зажигаетъ заключенную въ бутылкѣ смѣсь паровъ сѣрнистаго углерода съ воздухомъ. (Электрическій пистолетъ). Проволока *ab* должна быть проведена въ трубкѣ *h* внутри стеклянной трубки (почему?).

Электрическая искра можетъ зажечь и другія легко воспламеняющіяся вещества, напр. свѣтильный газъ, эфиръ, порохъ.

в) Электрическое дѣйствіе остріевъ. Прикрѣпимъ къ кондуктору заостренную проволоку; мы видимъ, что, какъ бы мы долго ни вращали машину, мы получаемъ лишь крошечныя искры. Кондукторъ не въ состояніи теперь удержать зарядъ, такъ какъ электричество непрерывно вытекаетъ съ острія въ воздухъ (ср. § 82). Если станемъ держать передъ остріемъ горящую свѣчу, то пламя ея будетъ отклоняться въ сторону, вслѣдствіе отталкиванія отъ острія одинаково съ нимъ наэлектризованныхъ частицъ воздуха (электрическій вѣтеръ). Въ темнотѣ мы наблюдаемъ блѣдно фіолетовый свѣтъ, исходящій изъ острія.

На истеченіи электричества изъ острія основано устройство такъ называемаго Франклинова колеса (сравните съ сегнеровымъ водянымъ колесомъ). Если придѣлаемъ остріе къ кондуктору, соединенному съ натирающими подушками, то въ темнотѣ будемъ наблюдать не исходящій изъ острія пучекъ свѣта, а только свѣтящуюся точку. Подобныя же свѣтящіяся точки мы видимъ въ темнотѣ и на остріяхъ кольца *r* (см. фиг. 134). Что отсюда слѣдуетъ? Возьмемъ въ руку вязальную иглу и приблизимъ ея остріе къ кондуктору. Искра, которую можетъ дать машина, сдѣлается отъ этого очень небольшой. Въ темнотѣ мы увидимъ на концѣ острія иглы свѣтящуюся точку. Попробуйте объяснить это явленіе! Въ природѣ иной разъ ночью наблюдаютъ на высоко расположенныхъ предметахъ, снабженныхъ остріями или ребрами, какъ напр. на верхушкахъ башенъ, остріяхъ мачтъ и т. п., подобные электрическіе разряды въ видѣ свѣтящейся кисти или точки (Огни св. Эльма).

г) Дѣйствія электрическаго притяженія и отталкиванія. Укрѣпимъ на кондукторѣ деревянный стержень, обклеенный листовымъ оловомъ и обвѣшенный бумажными полосками; лишь только пустимъ въ ходъ электрическую машину, какъ бумажныя полоски разойдутся вслѣдствіе взаимнаго отталкиванія во всѣ стороны.

Если кто нибудь станетъ на скамейку со стеклянными ножками (изолирующая скамейка) и положитъ руку на кондукторъ, то онъ самъ сдѣлается какъ бы частью кондуктора. Если приведемъ машину въ дѣйствіе, то электрическій зарядъ вызоветъ у подвергающагося опыту особое ощущеніе во всемъ тѣлѣ. Если волосы его сухи, они подымутся на головѣ и будутъ торчать щеткой; полоски бумаги, которыя онъ возьметъ въ руку, будутъ отталкиваться отъ него.

Изъ любой точки его тѣла мы можемъ извлечь искру.

Другіе относящіеся сюда опыты: электрическій звонъ, электрическая пляска и т. д.

д). **Дѣйствіе на человѣческое тѣло.** Когда изъ кондуктора въ палецъ перескакиваетъ искра, мы ощущаемъ какъ бы уколъ въ суставѣ. При болѣе сильныхъ искрахъ мы чувствуемъ болѣе или менѣе сильное сотрясеніе въ суставахъ руки и даже во всемъ тѣлѣ: мы называемъ это—электрическимъ ударомъ.

Если коснемся одной рукой внутренней, а другой — внѣшней обкладки заряженной лейденской банки, то противоположные заряды обѣихъ обкладокъ быстро соединятся черезъ наше тѣло и мы ощутимъ болѣзненное сотрясеніе, сильный электрическій ударъ. Разрядъ можетъ пройти одновременно и черезъ нѣсколько человѣкъ, если они возьмутъ другъ друга за руки и образуютъ такимъ образомъ цѣпь. Если первый въ этой цѣпи коснется свободной рукой одной обкладки лейденской банки, а послѣдній — другой обкладки, то всѣ почувствуютъ одновременно электрическій ударъ. Что мы должны отсюда заключить о скорости электричества? Сильный электрическій ударъ можетъ имѣть вредныя для здоровья послѣдствія, поэтому нужно быть осторожнымъ.

c). **Магнитныя дѣйствія.** Вложимъ въ тонкую стеклянную трубку ненамагниченную швейную иглу, а вокругъ трубки спирально намотаемъ много оборотовъ проволоки, обвитой шелкомъ, и соединимъ одинъ ея конецъ съ внѣшней обкладкой, а другой съ однимъ изъ шариковъ разрядника; если коснемся другимъ шарикомъ разрядника шарика лейденской банки, то игла окажется намагниченной.

89. **Атмосферное электричество.** *a*) Веньяминъ Франклинъ, желая изслѣдовать явленіе грозы, пустилъ въ 1752 г. при приближеніи грозы бумажный змѣй, снабженный металлическимъ остріемъ, на пеньковой веревкѣ, которую онъ держалъ въ рукѣ, обмотанной шелковымъ платкомъ. Когда веревка стала мокрой, изъ прикрѣпленнаго къ ней ключа можно было получать сильныя искры. Этимъ очень опаснымъ опытомъ было впервые доказано, что гроза представляетъ собой электрическое явленіе. Опыты, поставленные затѣмъ другими изслѣдователями, показали, что атмосферный воздухъ всегда имѣетъ свободный электрическій зарядъ. При ясномъ небѣ атмосфера по большей части заряжена положительно; грозовыя облака имѣютъ то положительный, то отрицательный зарядъ. Если какое нибудь облако проходитъ настолько низко, что поверхность земли оказывается въ области его дѣйствія, то чрезъ вліяніе электричество облака притягиваетъ на землѣ разноименный зарядъ и отталкиваетъ одноименный. При соединеніи чрезъ воздухъ электрическаго заряда облака съ разноименнымъ съ нимъ зарядомъ земли или же при соединеніи чрезъ воздухъ разноименныхъ зарядовъ двухъ облаковъ возникаетъ электрическая искра,—молнія; сопровождающій это явленіе звукъ называютъ громомъ.

Молнію мы наблюдаемъ или въ видѣ изгибающейся яркой линіи (линейная или зигзагообразная молнія бываетъ длиною до 12 **клм**) или же въ видѣ равномѣрнаго освѣщенія облака. На фотографическихъ снимкахъ линейной молніи видимъ, что она имѣетъ вѣтвистый видъ и напоминаетъ электрическую искру (фиг. 139, стр. 119).

Если молнія ударяетъ въ какой нибудь предметъ, то она его разрушаетъ; плавкія тѣла расплавляются, плохіе проводники, если они горючи, сжигаются, люди и звѣри оглушаются ударомъ молніи и нерѣдко даже бываютъ ею убиты. Вблизи мѣста, въ которое ударила молнія, чувствуется особый запахъ, похожій на тотъ, который получается при продолжительной работѣ электрической машины. Этотъ запахъ происходитъ отъ того, что находящійся въ воздухѣ кислородъ превращается при проскакиваніи электри-

ческой искры въ такъ называемый о з о н ъ. Послѣдній обладаетъ свойствами, похожими на свойства кислорода, но въ б о л ѣ е с и л ь н о й с т е п е н и; онъ представляетъ собой какъ бы с г у щ е н н ы й кислородъ.

Опытъ показываетъ намъ, что молнія ударяетъ чаще всего въ высокіе предметы, какъ напр. башни, деревья, мачты кораблей и т. п. Почему? При этомъ молнія всегда идетъ по хорошимъ проводникамъ, какъ напр. металлическія крыши, водостоки, желѣзныя постройки и пр. Чтобы оградить себя отъ молніи, не слѣдуетъ во время грозы оставаться вблизи наиболѣе высокихъ предметовъ. Поэтому нельзя становиться подъ высокія, одиноко растущія деревья. Во время грозы слѣдуетъ также избѣгать находиться вблизи водостоковъ и т. п.

б) Чтобы предохранить зданія и корабли отъ разрушающаго дѣйствія удара молніи и чтобы предупредить возможность самого удара молніи, устраиваютъ **громоотводы**, изобрѣтенные Ф р а н к л и н о м ъ. Громоотводъ состоитъ изъ желѣзной палки съ остріемъ на концѣ, которое часто покрываютъ толстымъ слоемъ позолоты или даже дѣлаютъ изъ платины для того, чтобы они не тупились отъ образованія ржавчины. Такіе желѣзные стержни укрѣпляются вертикально на конькѣ крыши, на верхушкахъ мачтъ и т. п. Отъ нихъ б е з ъ п е р е р ы в а идутъ вплоть до в л а ж н а г о слоя почвы или лучше до дна к о л о д ц а или до п о д п о ч в е н н ы х ъ в о д ъ желѣзные прутья или же канаты изъ мѣдной проволоки. Если въ зданіи находятся большія металлическія массы, то ихъ слѣдуетъ соединить хорошимъ проводникомъ съ проводами, идущими въ землю. На основаніи опытовъ извѣстно, что одинъ громоотводъ защищаетъ п р и б л и з и т е л ь н о пространство, имѣющее видъ к о н у с а, высота котораго равна высотѣ палки громоотвода, считая эту высоту отъ земли, а діаметръ основанія приблизительно въ два раза больше этой высоты; поэтому на большихъ зданіяхъ нужно ставить н ѣ с к о л ь к о громоотводовъ. Всѣ громоотводы должны быть м е т а л л и ч е с к и с о е д и н е н ы м е ж д у с о б о й и имѣть достаточно большое сѣченіе для того, чтобы у нихъ была достаточно хорошая электропроводность.

Чтобы я с н о понять цѣль, съ которой устраивается громоотводъ, вспомнимъ опытъ (§ 88*в*), продѣланный съ электрической машиной. Мы брали въ руку в я з а л ь н у ю и г л у и приближали ея остріе къ кондуктору приведенной въ дѣйствіе электрической машины. Машина давала тогда лишь очень слабую искру; кондукторъ п о с т е п е н н о р а з р я ж а л с я. Мы можемъ сравнить руку, въ которой держимъ иглу, со зданіемъ, на которомъ находится громоотводъ, а кондукторъ съ грозовымъ облакомъ. Итакъ, дѣйствіе громоотвода — д в о я к о 1) О н ъ п р е д у п р е ж д а е т ъ у д а р ъ м о л н і и, такъка къ въ силу э л е к т р и ч е с к а г о д ѣ й с т в і я о с т р і е в ъ, зарядъ грозового облака п о с т е п е н н о соединяется съ возбужденнымъ имъ чрезъ вліяніе и собранномъ въ зданіи заря-

домъ противоположнаго знака. 2) Если вслѣдствіе слишкомъ быстраго накопленія заряда такой постепенный разрядъ не можетъ произойти, то громоотводъ уводитъ ударившую въ него молнію по хорошимъ проводникамъ во влажную землю, и зданіе не подвергается поврежденію.

Почему громоотводъ, у котораго соединенія между отводящими въ землю стержнями не проводятъ достаточно хорошо, подвергаетъ большой опасности домъ, на которомъ онъ поставленъ? Почему во время грозы не слѣдуетъ оставаться вблизи громоотвода?

в) Громъ, слѣдующій за молніей, можно сравнить съ трескомъ электрической искры, получаемой отъ электрической машины; онъ отличается отъ послѣдняго только своею продолжительностью и раскатами. Если молнія ударитъ недалеко отъ насъ, то громъ раздается въ видѣ страшнаго треска; при болѣе отдаленныхъ молніяхъ громъ слышенъ нѣсколько позже и продолжается дольше съ характерными раскатами, т. е. онъ то затихаетъ, то снова усиливается, благодаря многократному отраженію звука отъ облаковъ, скалъ и т. п. При зарницахъ, которыя представляютъ собой отсвѣты грозы, происходящей ниже горизонта, мы грома совсѣмъ не слышимъ. Зарницы видны только въ сумеркахъ или ночью. (Почему?).

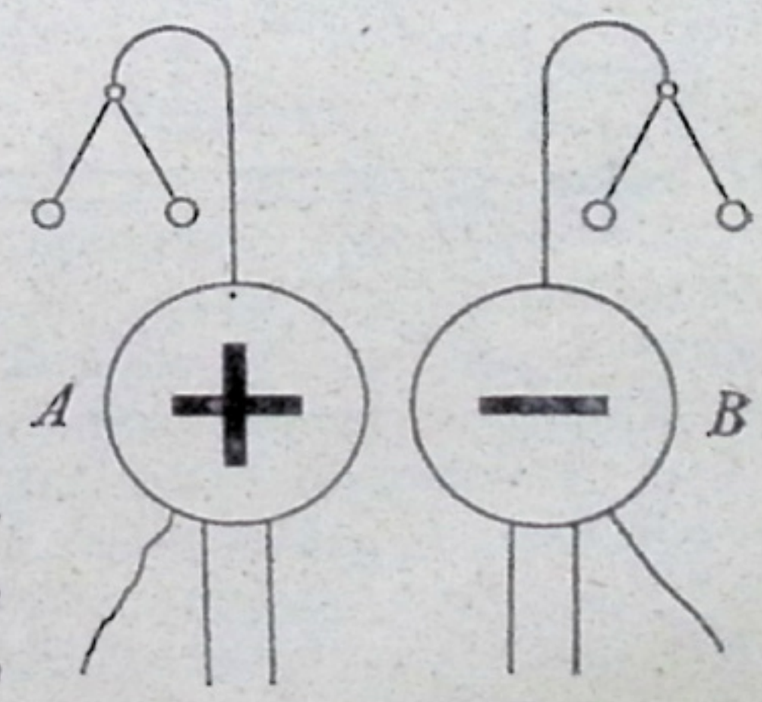
Что можно заключить, если во время грозы услышимъ громъ тотчасъ вслѣдъ за появленіемъ молніи, и что, если они раздѣлены большимъ промежутокомъ времени?

г) Иногда притягиваемое наэлектризованнымъ облакомъ разноименное электричество земли истекаетъ изъ остріевъ мачтъ, башенъ и т. п. и въ темнотѣ во влажномъ тепломъ воздухѣ образуетъ свѣтящіяся фіолетовымъ свѣтомъ кисти. Эти электрическія явленія свѣта называются огнями св. Эльма. (Ср. § 88).

Полярное сіяніе, видимое въ полярныхъ странахъ, тоже электрическаго происхожденія. При его появленіи магнитная стрѣлка испытываетъ сильныя колебанія.

Б. Явленіе динамическаго электричества.

90. **Электрическій токъ.** Если соединимъ одинъ изъ двухъ изолированныхъ шаровъ *A* и *B* (фиг. 141) съ кондукторомъ электрической машины *), а другой съ натирающими подушками (не отведенными въ данномъ случаѣ къ землѣ) и снабдимъ каждый кондукторъ электроскопами въ формѣ

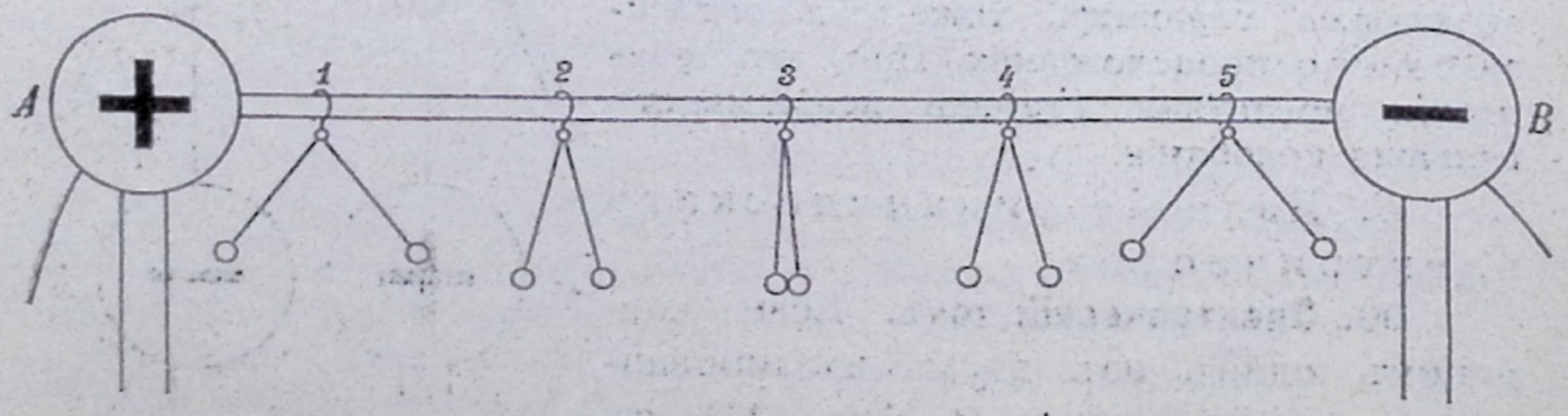


Фиг. 141.

*) Этотъ и слѣдующіе опыты особенно хорошо удаются съ электрофорной машиной.

электрическихъ маятниковъ (бузинные шарики на тонкихъ проволочкахъ, какъ на фиг. 121 стр. 103) и приведемъ машину въ дѣйствіе, то по расхожденію шариковъ мы видимъ, что каждый изъ шаровъ *A* и *B* обладаетъ вслѣдствіе полученнаго ими заряда опредѣленной степенью электричества, имѣетъ опредѣленный потенціалъ. Шаръ *A*, заряженный положительно, имѣетъ положительный потенціалъ, а шаръ *B*, заряженный отрицательно, — отрицательный. Такъ какъ электрическій зарядъ всегда стремится перейти отъ мѣстъ съ болѣе высокимъ потенціаломъ къ мѣстамъ, гдѣ потенціалъ ниже, и такъ какъ положительный потенціалъ шара *A* выше отрицательнаго потенціала шара *B* (§ 80), то, какъ только мы соединимъ оба шара хорошо проводящей металлической проволокой, противоположные заряды *A* и *B* соединятся, и вся система проводниковъ (шаръ *A* — соединительная проволока — шаръ *B*) пріметъ потенціалъ равный нулю. Если мы будемъ все время вращать машину, противоположные заряды *A* и *B* будутъ все время соединяться описаннымъ образомъ. Поэтому говорятъ, что черезъ проводящую проволоку отъ *A* къ *B* идетъ **электрическій токъ** отъ положительнаго заряда. Количество электричества, которое въ одну секунду проходитъ черезъ каждое сѣченіе проводящей проволоки, называютъ **силой тока**.

Это явленіе легче прослѣдить въ томъ случаѣ, если соединимъ шары *A* и *B* полупроводникомъ (напр. влажнымъ пеньковымъ шнуромъ или тонкой деревянной палочкой), къ которому подвѣсимъ при помощи проводниковъ рядъ двойныхъ электрическихъ маятниковъ (фиг. 142). Соединеніе противоположныхъ электричествъ

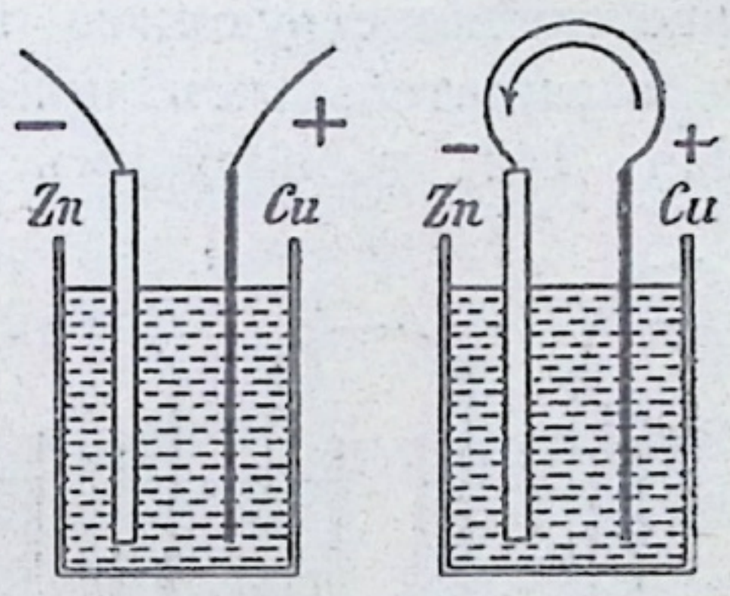


Фиг. 142.

происходитъ въ этомъ случаѣ постепенно. Средній электроскопъ (*3*) не даетъ никакого расхожденія (потенціалъ нуль), электроскопы же между *A* и *3* показываютъ постепенное убываніе положительнаго потенціала *A* до нуля, а электроскопы между *3* и *B*—дальнѣйшее убываніе потенціала отъ нуля до отрицательнаго значенія на *B* — Сравните это явленіе съ теченіемъ воды, между двумя сосу-

дами, въ которыхъ вода стоитъ на различныхъ уровняхъ и которые сообщаются другъ съ другомъ посредствомъ трубки. Что бы пришлось въ этомъ случаѣ назвать силой теченія воды?

91. **Элементъ Вольты.** Въ описанныхъ опытахъ электрическій токъ между A и B возникаетъ благодаря тому, что на шарахъ A и B значенія потенціала различны, иначе говоря, между A и B существуетъ разность потенціаловъ. Въ концѣ 18-го столѣтія случайное наблюденіе болонскаго врача Луиджи Гальвани послужило поводомъ къ открытію (Вольтой) явленія, оказавшагося крайне важнымъ. Заключается оно въ слѣдующемъ. Если погрузимъ въ слабый растворъ сѣрной кислоты одну цинковую пластинку Zn и одну мѣдную Cu такъ, чтобы онѣ не касались другъ друга, и къ каждой изъ нихъ, какъ указано на фиг. 143, прикрѣпимъ по мѣдной проволокѣ, то съ помощью очень чувствительнаго электроскопа (§ 87 *г*) можно обнаружить, что мѣдная пластинка имѣетъ положительный зарядъ, а цинковая — отрицательный.



Фиг. 143.

Фиг. 144.

Подобный приборъ, состоящій изъ двухъ пластинокъ изъ различныхъ металловъ, погруженныхъ въ жидкость, называютъ **элементомъ Вольты**. Концы металлическихъ пластинокъ, находящихся внѣ жидкости, называютъ полюсами элемента (**электродами**); конецъ мѣдной пластинки называется положительнымъ (**анодомъ**), а конецъ цинковой — отрицательнымъ полюсомъ (**катодомъ**).

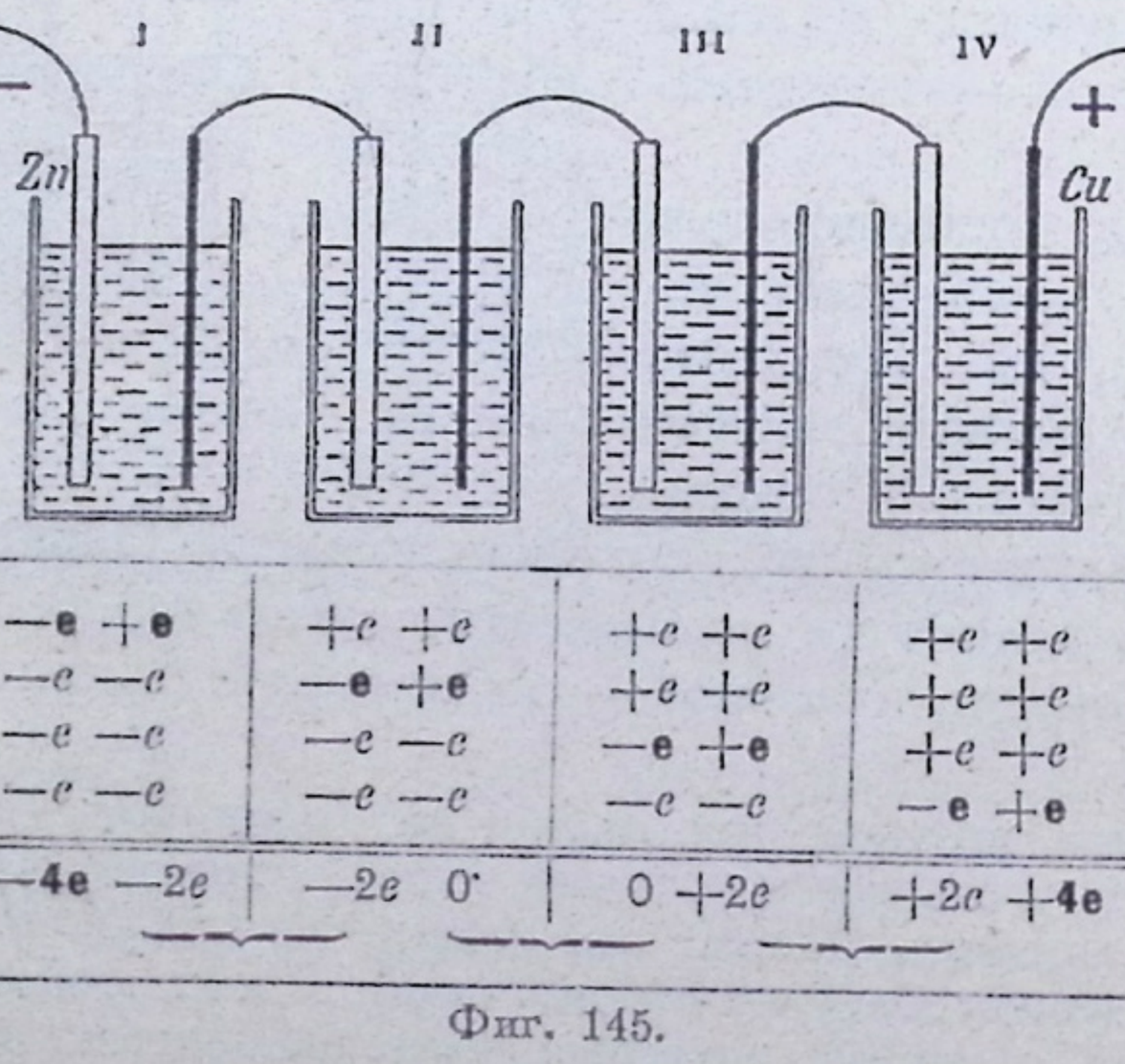
Электрическіе заряды, которые мы нашли на полюсахъ элемента Вольты, возникаютъ въ томъ случаѣ, если приведемъ въ соприкосновеніе металлъ (цинкъ или мѣдь) съ жидкостью (сѣрной кислотой); при этомъ соприкосновеніи происходятъ химическія измѣненія въ самомъ элементѣ, которыя ниже разберемъ подробнѣе. Поэтому, возникновеніе зарядовъ на полюсахъ элемента Вольты приписываютъ электричеству чрезъ соприкосновеніе или же (въ честь перваго открывшаго эти явленія) гальваническому электричеству.

Если соединимъ обѣ пластинки Zn и Cu элемента Вольты мѣдной проволокой (фиг. 144), то противоположные заряды обѣихъ пластинокъ взаимно уничтожаются подобно тому, какъ это происходило въ описанныхъ въ §.90 опытахъ; однако, въ данномъ случаѣ исчезнувшіе заряды тотчасъ же возмѣщаются, такъ какъ

металлъ остается въ соприкосновеніи съ жидкостью, а потому и движеніе зарядовъ по проволокѣ не прекращается. Получается электрическій токъ, несущій положительный зарядъ отъ мѣдной пластинки къ цинковой. Мы называемъ элементъ замкнутымъ, если его полюсы соединены, какъ въ данномъ случаѣ, между собой проводникомъ; въ противномъ случаѣ, элементъ — не замкнутъ.

Итакъ, разность потенціаловъ на полюсахъ не замкнутаго элемента вызываетъ электрическій токъ въ замкнутомъ элементѣ; эта разность потенціаловъ какъ бы движетъ положительный зарядъ отъ мѣди къ цинку и поэтому ее называютъ также электродвижущей силой.

92. **Батарея Вольты.** Если соединимъ между собой рядъ элементовъ Вольты такъ, чтобы положительный полюсъ (мѣдь) каждаго предшествующаго элемента былъ соединенъ проводникомъ съ отрицательнымъ полюсомъ (цинкомъ) слѣдующаго элемента (фиг. 145), то получимъ **батарею Вольты**. На нашемъ схематическомъ рисункѣ она представлена не замкнутой. Если конечные ея полюсы (*Cu* и *Zn*) соединимъ проводникомъ, то батарея будетъ замкнута; при этомъ, какъ и въ случаѣ одного элемента, токъ будетъ итти отъ положительнаго полюса *Cu* къ отрицательному полюсу *Zn*. Легко сообразить, что движеніе положительнаго заряда въ томъ случаѣ, если возьмемъ батарею изъ n элементовъ, будетъ вызвано электродвижущей силой (разностью потенціаловъ) въ n разъ большей, чѣмъ въ случаѣ одного элемента.



Фиг. 145.

Обозначимъ значеніе потенціала на мѣдной пластинкѣ незамкнутаго элемента чрезъ $+e$, а на цинковой пластинкѣ чрезъ $-e$; ясно, что всѣ мѣдныя пластинки элементовъ II, III и IV (фиг. 145) должны сперва получить тотъ же потенціалъ $+e$, такъ какъ они образуютъ вмѣстѣ съ мѣдной пластинкой элемента I одну систему хо-

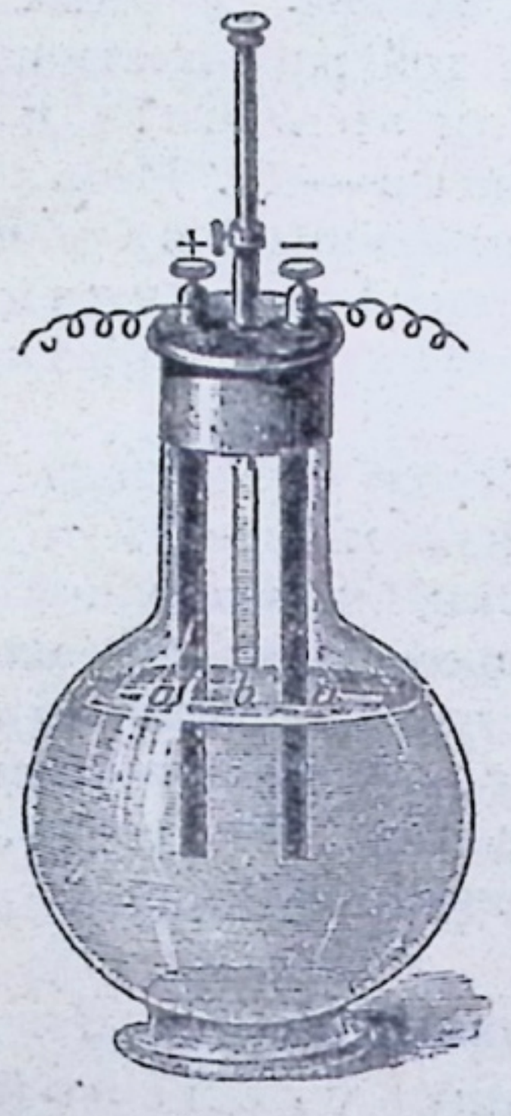
рошихъ проводниковъ электричества (первая строка таблицы подъ фиг. 145). Точно такъ же объ пластинки элемента I, соединенныя хорошимъ проводникомъ съ цинковой пластинкой второго элемента, принимаютъ потенціалъ $-e$, а пластинки элементовъ III и IV, соединенныя съ мѣдной пластинкой элемента II, — потенціалъ $+e$ (вторая строка таблицы подъ фиг. 145). Если продолжимъ наше разсужденіе по отношенію къ элементамъ III и IV (третья и четвертая строки таблицы подъ фиг. 145) и затѣмъ сложимъ всѣ значенія потенціала, относящіяся къ одной и той же пластинкѣ, то получимъ для мѣднаго полюса батареи значеніе потенціала $+4e$, а для ея цинковаго полюса $-4e$. Итакъ на конечныхъ полюсахъ батареи, состоящей изъ четырехъ элементовъ, получаемъ значенія потенціала въ 4 раза большія, чѣмъ на полюсахъ отдѣльнаго элемента.

Если устроимъ батарею изъ 100 или болѣе элементовъ Вольты (каждый изъ нихъ можетъ быть очень маленькимъ и состоять, напримѣръ, изъ маленькой пробирки, наполненной водой, въ которую погружены цинковая и мѣдная проволока), то на концахъ незамкнутой батареи получается уже достаточно значительная разность потенціаловъ, такъ что хорошій электроскопъ съ золотыми листочками дастъ сильное расхожденіе листочковъ, если соединимъ его шарикъ изолированной проволкой съ однимъ полюсомъ батареи.

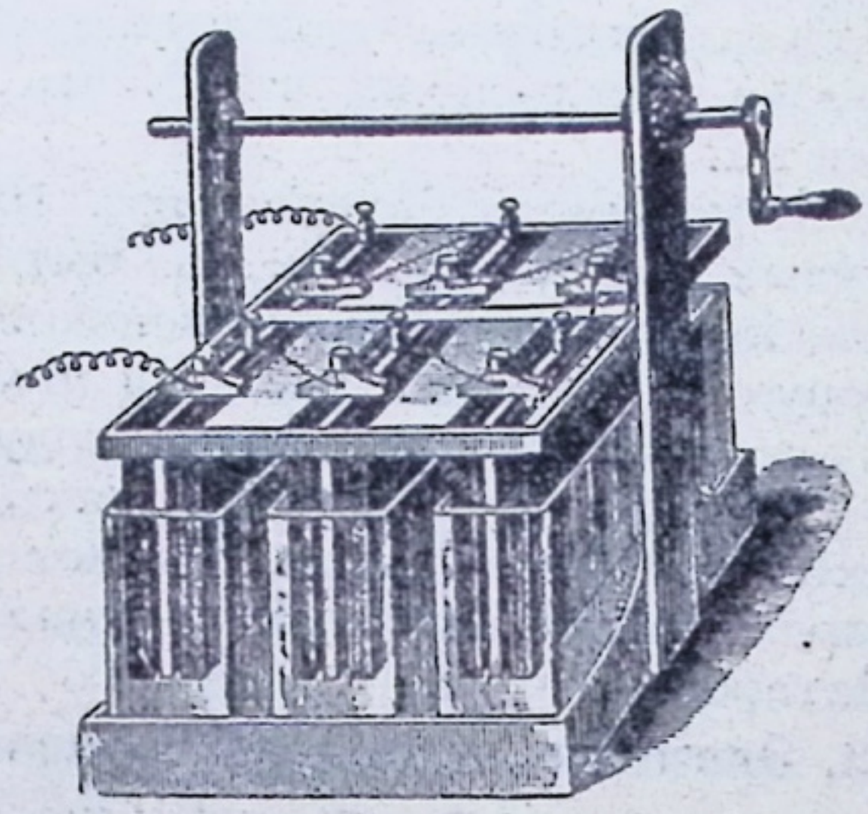
93. **Элементъ и батарея съ хромовой кислотой.** Въ элементѣ Вольты можно замѣнить мѣдную пластинку угольной (или пластинкой изъ кокса); электрическій токъ будетъ получаться и послѣ такой замѣны. Токъ станетъ значительно сильнѣе, если мы при этомъ возьмемъ вмѣсто разбавленной сѣрной кислоты хромовую, она представляетъ собой жидкость, имѣющую сперва красивый красный цвѣтъ, который постепенно измѣняется вслѣдствіе происходящихъ въ ней химическихъ процессовъ. Этотъ элементъ часто устраиваютъ такъ, какъ это изображено на фиг. 146. Стеклянный сосудъ въ родѣ бутылки наполненъ растворомъ хромовой кислоты. Онъ закрытъ сверху эбонитовой крышкой, къ которой прикрѣплены двѣ угольныя пластинки *a a*, между которыми находится цинковая пластинка *b*, которую можно поднимать и опускать при помощи прикрѣпленнаго къ ней латуннаго стерженька. Обыкновенно цинковая пластинка поднята вверхъ. Когда желаемъ привести элементъ въ дѣйствіе, то опускаемъ цинковую пластинку въ жидкость. Этотъ элементъ называютъ элементомъ Грене. Положительный полюсъ элемента находится на угольной пластинкѣ, отрицательный на цинковой.

Нѣсколько такихъ элементовъ можно соединять въ батарею точно такимъ же образомъ, какъ мы это дѣлали съ элементами

Вольты. Эти батареи часто устраиваются такъ, какъ представлено на фиг. 147. Угольныя и цинковыя пластинки шести элементовъ укрѣплены тутъ на прямоугольной деревянной рамѣ, которую можемъ поднимать или опускать при помощи особой рукоятки. Когда опустимъ раму, угольныя и цинковыя пластинки погрузятся въ стеклянные прямоугольные сосуды, наполненные растворомъ хромовой кислоты, и батарея готова къ употребленію.



Фиг. 146.



Фиг. 147.

Съ подобной батареей можно продѣлать рядъ опытовъ, похожихъ отчасти на тѣ, которые мы производили съ электрической машиной.

Дѣйствія гальванической батареи не совсѣмъ сходны съ тѣми электрическими дѣйствіями, которыя мы изучали до сихъ поръ. Это объясняется тѣмъ, что источники электричества, которыми мы пользовались въ ученіи о такъ называемомъ покоющемся (статическомъ) электричествѣ (натертыя палочки, электроформъ, электрическая машина) давали при очень высокомъ потенціалѣ заряды, но въ очень небольшомъ количествѣ, между тѣмъ какъ источники электричества съ которыми знакомимся въ ученіи о движущемся (динамическомъ) электричествѣ (элементы, батареи) даютъ намъ заряды при низкомъ потенціалѣ, но въ очень большихъ количествахъ. Поэтому мы и должны ожидать, что получимъ въ обоихъ случаяхъ разныя дѣйствія.

Сказанное станетъ еще яснѣе, если прибѣгнемъ къ слѣдующему сравненію. Рѣка представляетъ собой громадныя количества движущейся воды, приводимой въ движеніе сравнительно незначительнымъ давленіемъ (подъ дѣйствіемъ тяжести, вслѣдствіе разности уровней у ея верховьевъ и у устья). Наоборотъ, горный ручей несетъ сравнительно небольшое количество воды,

находящейся зато подъ очень большимъ давленіемъ, подобно струѣ воды въ пожарномъ насосѣ. Поэтому дѣйствія, производимыя рѣкой и потокомъ, весьма различны. Если построимъ на рѣкѣ мельничное колесо, то дѣйствіемъ вѣса большого количества воды приведемъ его въ медленное, но непрерывное вращеніе, и колесо можетъ преодолѣвать значительныя сопротивленія. Если же направимъ на колесо струю пожарнаго насоса, то мы, пожалуй, раздробимъ водяной струей его лопасти, но не приведемъ во вращеніе тяжелаго мельничнаго колеса.

94. **Тепловыя дѣйствія. Лампочки накаливанія.** Пропустимъ токъ отъ сильной батареи черезъ короткую, тонкую желѣзную проволоку. Ея температура быстро повышается, и вскорѣ проволочка накаливается до бѣла, даже плавится и обрывается. Платиновая проволока такихъ же размѣровъ накалится до бѣла, но не расплавится (**гальваническое накаливаніе**).

Болѣе длинныя, тонкія желѣзныя, нейзильберовыя или платиновыя проволоки, имѣющія одинаковую длину и толщину, также нагрѣваются достаточно сильнымъ токомъ, хотя и не до такой высокой температуры, чтобы наступило накаливаніе и плавленіе. Если раньше, чѣмъ пропустить токъ, мы приклеимъ воскомъ въ различныхъ точкахъ натянутой проволоки небольшіе деревянные шарики, то при прохожденіи тока они скоро отпадутъ, что служитъ доказательствомъ нагрѣванія проволоки.

Количество тепла, выдѣляющееся въ проволокѣ, замыкающей батарею, можно увеличить, усиливая токъ (увеличеніемъ размѣровъ элементовъ и ихъ числа). Если производимъ опытъ съ однимъ и тѣмъ же источникомъ тока (батареей), то количество выдѣляемаго тепла зависитъ отъ продолжительности прохожденія тока и отъ вещества проволоки; короткія, тонкія проволоки нагрѣваются сильнѣе, чѣмъ длинныя, толстыя; желѣзная проволока нагрѣвается слабѣе, чѣмъ нейзильберовая проволока такой же длины и толщины. Еще слабѣе нагрѣваются при тѣхъ же условіяхъ мѣдныя и серебряныя проволоки.

Накаливаніе электрическимъ токомъ получило очень важное примѣненіе для электрическаго освѣщенія въ **электрическихъ лампочкахъ накаливанія**. На фиг. 148 изображена лампочка накаливанія Эдисона. Она состоитъ изъ грушевиднаго стекляннаго сосуда, изъ котораго выкачанъ воздухъ и внутри котораго находится изогнутая угольная нить abc; ея концы прикрѣплены къ проволочкамъ, проходящимъ сквозь стекло наружу къ зажимамъ A и K. Угольная нить имѣетъ

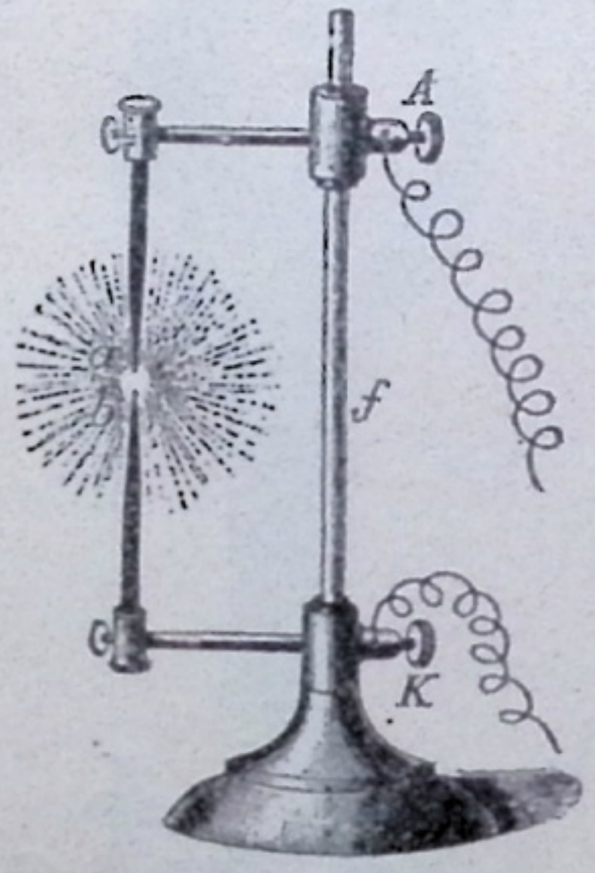
Фиг. 148.

толщину лошадинаго волоса, но при этомъ обладаетъ значительной твердостью. Если соединимъ проволоки, идущія отъ батареи, съ зажимами *A* и *K*, то угольная нить накаливается и испускаетъ пріятный мягкій свѣтъ.

Освѣщеніе электрическими лампочками накаливанія по сравненію съ другими способами освѣщенія обладаетъ слѣдующими преимуществами. Оно значительно безопаснѣе въ пожарномъ отношеніи; на него не затрачивается кислородъ окружающаго воздуха; при освѣщеніи не бываетъ копоти и не выдѣляются вредные газы; тепла образуется также меньше, чѣмъ при иномъ способѣ освѣщенія; наконецъ, однимъ поворотомъ рычажка, замыкающаго токъ, мы можемъ сразу зажечь цѣлый рядъ лампъ. Поэтому электрическое освѣщеніе лампочками накаливанія является огромнымъ шагомъ впередъ въ дѣлѣ освѣщенія театровъ и фабрикъ, на которыхъ обрабатываются легко воспламеняющіяся вещества (хлопчатобумажныхъ прядилень, пороховыхъ заводовъ и пр.), далѣе, при освѣщеніи витринъ, заключающихъ цѣнные предметы, легко портящіеся отъ жара, наконецъ, при освѣщеніи классовъ, больницъ и т. д.

Электрическое накаливаніе примѣняется, кромѣ того, для взрыва минъ и затѣмъ въ хирургіи (гальванокаустика). Устраиваютъ также электрическія печи и кухни, въ которыхъ тепло получается путемъ нагрѣванія сильнымъ токомъ спирально согнутыхъ проволокъ.

95. **Тепловыя дѣйствія. Вольтова дуга.** Если приведемъ въ соприкосновеніе концы мѣдныхъ проволокъ отъ обоихъ полюсовъ (электроды) сильной гальванической батареи, то замѣтимъ, что еще раньше, чѣмъ онѣ коснутся другъ друга, между ними проскочитъ очень слабая искра (искра замыканія). Болѣе сильная искра получится въ тотъ моментъ, когда мы разомкнемъ проволоки (искра размыканія) *). Цвѣтъ этой искры зависитъ отъ вещества электродовъ (мѣдь даетъ зеленый, желѣзо—желтовато-красный, ртуть — голубовато-бѣлый и т. д.). Если къ замыкающимъ проволокамъ *A* и *K* (фиг. 149) сильной батареи прикрѣпимъ заостренные куски углей, изолированные другъ отъ друга стеклянной колонкой *f*, и сперва сблизимъ ихъ до соприкосновенія, а затѣмъ немного разведемъ ихъ концы, то получившаяся при размыканіи искра не гаснетъ, и оба конца углей, въ особен-



Фиг. 149.

*) Замѣтная искра замыканія получается только тогда, когда возьмемъ нѣсколько сотъ элементовъ. Искру размыканія можно получить уже съ описанной батареей съ хромовой кислотой.

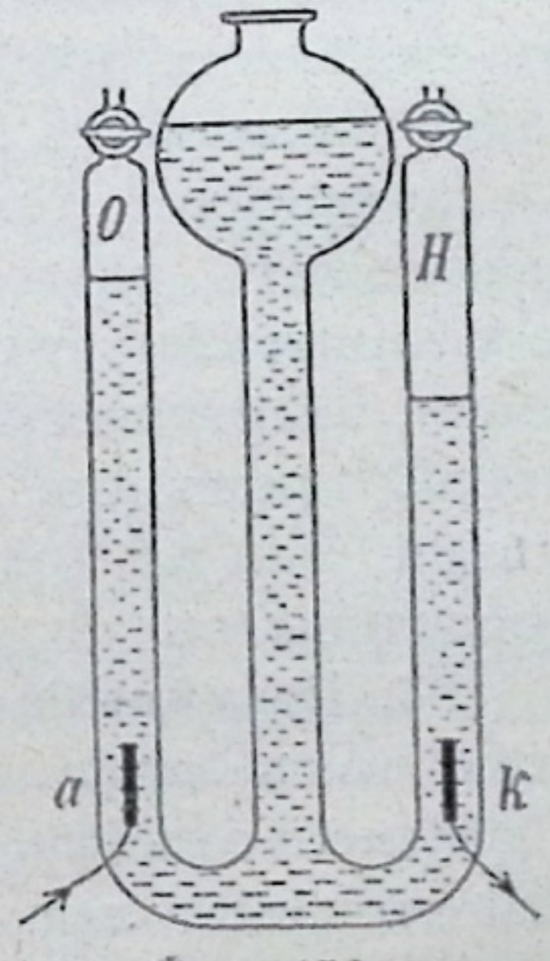
ности же конецъ, соединенный съ положительнымъ полюсомъ, накаляются до бѣла. Между углями образуется фіолетовая свѣтовая дуга. Явленіе это называется **Вольтовой дугой.**

При этомъ больше всего свѣта испускаетъ конецъ положительнаго угля, въ которомъ образуется углубленіе (кратеръ). Такъ какъ оба угля при продолжительномъ свѣченіи постепенно сгораютъ (при томъ положительный вдвое скорѣе, почему его берутъ обыкновенно соотвѣтственно болѣе толстымъ), то разстояніе между ихъ концами все увеличивается. Когда оно станетъ больше нѣкоторой величины, Вольтова дуга потухаетъ. Поэтому въ электрическихъ дуговыхъ лампахъ приходится устраивать особыя самодѣйствующія приспособленія (регуляторы), которыя удерживаютъ (автоматически) концы углей на надлежащемъ разстояніи. Силу свѣта электрическихъ дуговыхъ лампъ можно увеличивать почти безгранично, стоитъ только для этого примѣнять соотвѣтственно болѣе сильные токи.

Электрическая дуговая лампа примѣняется для освѣщенія улицъ, площадей, вокзаловъ, въ театрахъ для полученія особыхъ свѣтовыхъ эффектовъ и т. д. Она примѣняется также на корабляхъ и на маякахъ (прожекторы).

Тамъ, гдѣ есть уже газовое освѣщеніе, распространенію электрическаго освѣщенія, несмотря на его значительныя преимущества, мѣшаетъ его сравнительная дороговизна.

96. **Химическія дѣйствія.** Въ стеклянный приборъ, состоящій изъ трехъ сообщающихся трубокъ (фиг. 150), впаяны въ *a* и *k* платиновыя проволоки, къ которымъ прикрѣплены платиновыя пластинки. Открывъ краны у обѣихъ боковыхъ трубокъ, наполняемъ черезъ воронку средней трубки весь приборъ водой, къ которой прибавлено немного сѣрной кислоты. Закроемъ теперь краны и прикрѣпимъ къ *a* проволоку, идущую отъ положительнаго полюса батареи, а къ *k*—проволоку отъ отрицательнаго полюса; въ такомъ случаѣ электрическій токъ пройдетъ черезъ жидкость въ направленіи, указанномъ стрѣлками; онъ входитъ въ *a* и выходитъ у *k*. Мѣсто входа тока называютъ анодомъ, а мѣсто выхода тока — катодомъ.



Фиг. 150.

Въ то время, какъ токъ проходитъ черезъ воду, въ трубкахъ *O* и *H* поднимаются многочисленные пузырьки газа и вытѣсняютъ воду, такъ что уровень ея падаетъ, и при томъ пониженіе его въ трубкѣ *H* всегда въ два раза больше, чѣмъ въ трубкѣ *O*. Черезъ нѣкоторое время выключимъ приборъ изъ цѣпи тока,

возьмемъ еле тлѣющую лучинку и, держа ее надъ отверстіемъ трубки *O*, откроемъ кранъ; лучинка сразу вспыхнетъ и будетъ ярко горѣть. Если же откроемъ кранъ *H*, держа надъ нимъ горящую лучинку, то выходящій изъ отверстія трубки газъ самъ воспламенится и будетъ горѣть слабо свѣтящимся голубоватымъ пламенемъ. Первый газъ, собравшійся въ трубкѣ *O*,— кислородъ (мы судимъ о немъ по тому, что вспыхиваетъ тлѣющая лучинка); трубка *H* содержитъ воспламеняющійся газъ, называемый водородомъ. Въ химіи мы узнаемъ, что оба эти газа, представляютъ составныя части воды (въ объемномъ отношеніи 1 : 2). Въ нашемъ опытѣ вода распалась на свои составныя части подъ дѣйствіемъ электрическаго тока.

Погрузимъ въ стаканъ, наполненный насыщеннымъ растворомъ мѣднаго купороса, прямоугольную мѣдную пластинку и подобную же очищенную свинцовую (или лучше платиновую пластинку). Мѣдную пластинку соединяемъ съ положительнымъ полюсомъ батареи, а свинцовую — съ отрицательнымъ. Черезъ нѣкоторое время свинцовая пластинка покрывается металлической блестящей мѣдью.

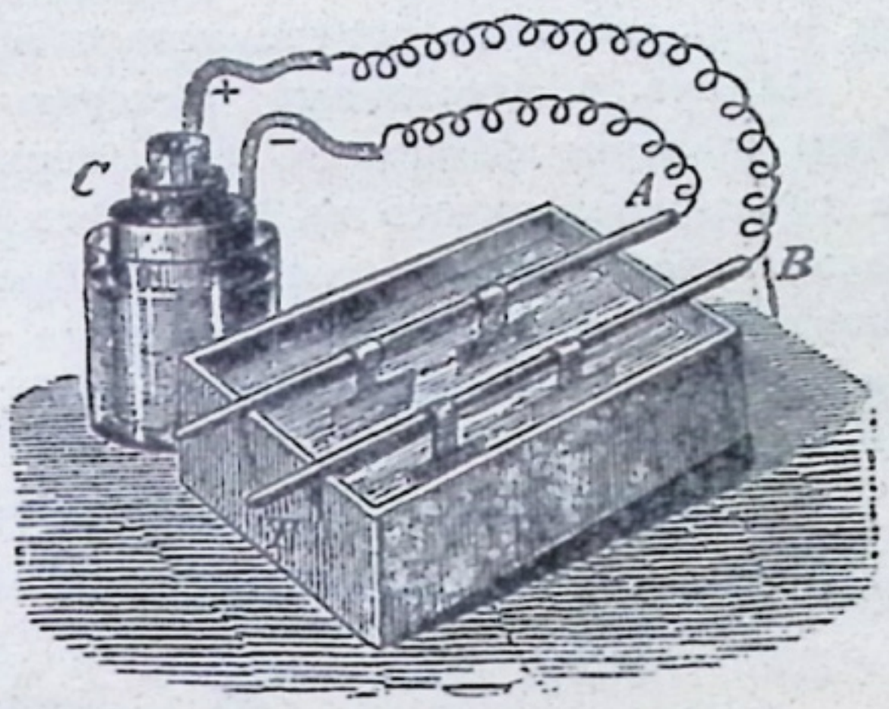
Изъ этихъ двухъ опытовъ мы заключаемъ, что электрическій токъ разлагаетъ на составныя части воду и растворъ мѣднаго купороса, т. е. два сложныхъ тѣла; при этомъ на катодѣ онъ выдѣляетъ водородъ, въ другомъ случаѣ — мѣдь. Это явленіе называютъ электролитическимъ дѣйствіемъ гальваническаго тока или **электролизомъ**. Всякое тѣло, которое токъ можетъ разложить, называютъ электролитомъ. Не всѣ химически сложныя тѣла являются электролитами; вообще говоря, электрическій токъ разлагаетъ только тѣ тѣла, которыя хорошо проводятъ электричество и находятся въ жидкомъ состояніи или-же (растворѐніемъ или плавленіемъ) могутъ быть переведены въ жидкое состояніе.

97. **Примѣненія электролиза**. На томъ явленіи, что электрическій токъ отлагаетъ на предметѣ, соединенномъ съ катодомъ и опущенномъ въ растворъ, содержащій какой-нибудь металлъ, слой этого металла, основана **гальванопластика**, открытая въ 1838 году Якоби и Спенсеромъ, т. е. способъ полученія при помощи электрическаго тока точныхъ металлическихъ снимковъ съ данныхъ предметовъ, затѣмъ, **гальванопластическій** способъ покрывать предметы слоемъ металла и наконецъ **гальваническій способъ очищенія металловъ**.

Сосудъ *C* наполненъ растворомъ мѣднаго купороса. За анодъ беремъ мѣдныя пластинки, подвѣшенныя на стержнѣ *B*; за катодъ беремъ какой нибудь проводящій токъ предметъ и подвѣшиваемъ его къ стержню *A*. На этомъ предметѣ по истеченіи нѣсколькихъ часовъ отложится плотный слой мѣди, на которомъ отчетливо видны всѣ возвышенія и углубленія предмета. Этотъ мѣдный слой легко отдѣляется при помощи ножа, если мы до опыта натремъ предметъ бронзовымъ или графитовымъ порошкомъ.

Тѣ части предмета, на которыхъ мѣдь не должна отлагаться, покрываютъ непроводящимъ слоемъ изъ воска или гуттаперчи.

Если сравнимъ снимокъ съ оригиналомъ, то видимъ, что онъ имѣетъ обратный рельефъ, а именно, всѣмъ выпуклостямъ предмета соотвѣтствуютъ углубленія на снимкѣ и наоборотъ. Такой снимокъ называютъ матрицей (формой). Матрицу предмета, съ котораго желаютъ получить рельефный слѣпокъ, обыкновенно изготовляютъ изъ размягченной гуттаперчи; и чтобы сдѣлать форму проводящей электричество, натираютъ графитовымъ порошкомъ. Такую матрицу, соединенную проводникомъ съ отрицательнымъ полюсомъ батареи, дающей слабый, но постоянный токъ въ теченіе долгаго времени, опускаютъ въ сосудъ *T* (фиг. 151), гдѣ она служитъ катодомъ.



Фиг. 151.

По мѣрѣ того, какъ на отрицательномъ электродѣ мѣдь осаждается изъ раствора, мѣдь положительной пластины переходитъ въ растворъ. Чтобы получить плотные гальванопластическіе слои мѣди, нужно примѣнять не слишкомъ сильный токъ и позаботиться о томъ, чтобы растворъ и самъ предметъ были совершенно чисты. Благодаря гальванопластикѣ мы можемъ воспроизводить гравюры, съ которыхъ сперва снимаютъ гуттаперчевые оттиски.

Если желаемъ гальваническимъ путемъ покрыть предметы слоемъ золота, серебра, никкеля и т. п., то беремъ съ этой цѣлью вмѣсто раствора мѣднаго купороса соотвѣтственные растворы солей золота, серебра или никкеля. (Гальваностегія). Предметъ долженъ хорошо проводить электричество; онъ подвѣшивается на металлическомъ стержнѣ *A*.

Выдѣленные при гальваническомъ осажденіи металлы химически чисты. Поэтому описанный процессъ употребляется и для полученія металловъ въ чистомъ видѣ.

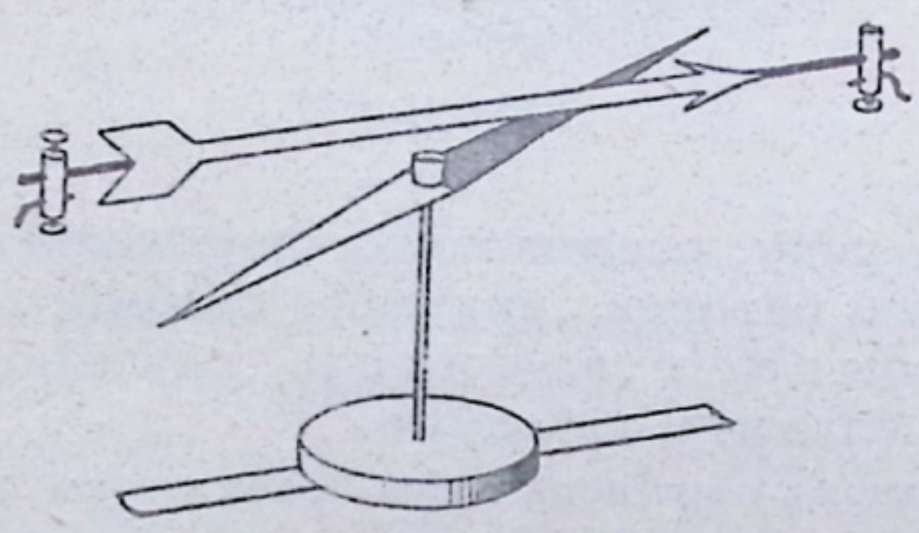
98. **Измѣреніе силы тока. Амперъ.** Электролизъ даетъ намъ возможность при помощи химическихъ процессовъ **измѣрять силу тока.** Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ болѣе гремучаго газа онъ образуетъ въ одну минуту изъ подкисленной воды. За единицу

силы тока теперь принимаютъ такую силу тока, при которой токъ въ 1 минуту выдѣляетъ 10,4 **цт³** гремучаго газа (при 0° Ц. и 760 **мм** давленія). Эту единицу силы тока въ честь физика Ампера называютъ **ампером**ъ.

Чтобы измѣрить количество гремучаго газа, выдѣленнаго токомъ въ 1 минуту, пользуются **вольтаметром**ъ, т. е. приборомъ для разложенія воды, въ которомъ оба электрода находятся внизу одного и того же цилиндра. Вмѣсто того, чтобы опредѣлять количество выдѣленнаго гремучаго газа, можно также опредѣлять взвѣшиваніемъ количество отложеннаго на катодѣ металла. Токъ силою въ «одинъ амперъ» отлагаетъ въ секунду изъ раствора мѣднаго купороса 0,328 **мгр** мѣди, а изъ раствора азотнокислаго серебра 1,118 **мгр** серебра.

Задачи: 1. Сколькимъ амперамъ равна сила тока, который при 0° и 760° **мм** давленія выдѣляетъ въ четверть часа 780 **цт³** гремучаго газа? 2. Какова сила тока, отлагающаго въ 10 минутъ 0,671 **гр** серебра? 3. Сколько мѣди выдѣлитъ въ теченіе сутокъ токъ въ «100 амперъ»? 4. На сколько часовъ нужно оставить въ ваннѣ оттискъ медальона, поверхность котораго равна 1 **дцм²**, если желаемъ получить слой мѣди толщиной въ 1 **мм** (s = 8,9), а сила тока равна 2,5 амперъ?

99. **Магнитныя дѣйствія.** Помѣстимъ надъ магнитной стрѣлкой (фиг. 152) проволоку, замыкающую гальваническій элементъ,



Фиг. 152.

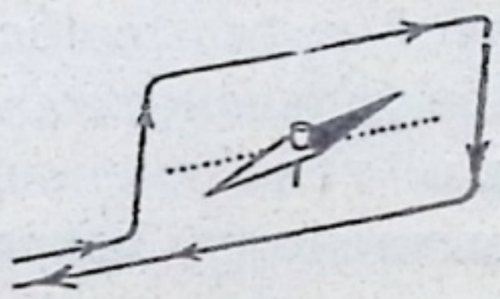
такъ, чтобы токъ шелъ съ юга на сѣверъ. Магнитная стрѣлка отклонится; ея сѣверный конецъ отойдетъ нѣсколько на западъ. Если, удаливъ проволоку, дадимъ стрѣлкѣ прійти въ первоначальное положеніе и затѣмъ будемъ надъ ней держать проволоку, въ которой токъ теперь идетъ съ сѣвера на югъ, то увидимъ, что сѣверный конецъ магнитной стрѣлки отклонится къ востоку. Повторимъ опытъ, держа проволоку то подъ стрѣлкой, то справа и слѣва отъ нея. Во всѣхъ случаяхъ магнитная стрѣлка отклонится въ опредѣленномъ направленіи. Итакъ, если вблизи магнитной стрѣлки проходитъ электрическій токъ, то магнитная стрѣлка отклоняется, причемъ она всегда стремится стать перпендикулярно къ направленію тока (Законъ Эрштеда относительно **отклоненія магнитной стрѣлки электрическимъ токомъ**).

Магнитная стрѣлка не можетъ стать перпендикулярно къ направленію тока, потому что земной магнитизмъ стремится вернуть ее въ начальное положеніе. Подъ одновременнымъ дѣйствіемъ обѣихъ силъ магнитная стрѣлка занимаетъ нѣкоторое среднее положеніе.

Чтобы заранѣе можно было опредѣлить, въ какую сторону отклонится магнитная стрѣлка подъ дѣйствіемъ электрическаго тока, Амперъ далъ слѣдующее правило: если вообразимъ наблюдателя расположеннымъ вдоль проволоки такъ, чтобы онъ былъ обращенъ лицомъ къ стрѣлкѣ, и чтобы токъ шелъ по направленію отъ ногъ къ головѣ, то сѣверный конецъ стрѣлки будетъ всегда отклоненъ влѣво отъ наблюдателя.

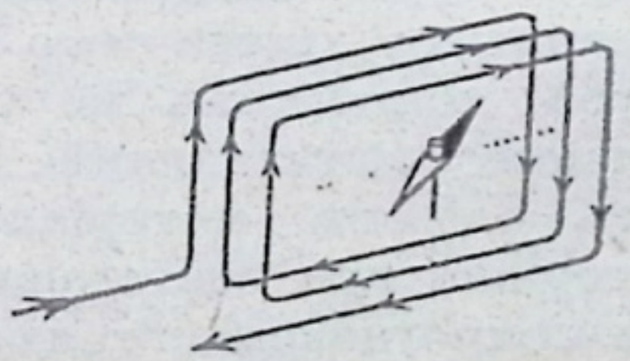
Правило Ампера можно замѣнить такимъ: если положить правую руку на проволоку такъ, чтобы ладонью она была обращена къ стрѣлкѣ, и чтобы токъ шелъ къ концамъ пальцевъ, то сѣверный конецъ стрѣлки всегда будетъ отклоненъ въ сторону большого пальца.

Если помѣстимъ магнитную стрѣлку внутри проволочнаго прямоугольника (фиг. 153), по которому идетъ токъ въ направленіи, указанномъ стрѣлкой, то каждая часть оборота, какъ легко опредѣлить по правилу Ампера, отклонитъ стрѣлку въ одномъ и томъ же направленіи.



Фиг. 153.

Если окружимъ стрѣлку нѣсколькими изолированными другъ отъ друга оборотами проволоки, для чего лучше всего взять проволоку съ шелковой обмоткой, то каждый изъ оборотовъ отклонитъ стрѣлку въ одну и ту же сторону (фиг. 154). Дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку можетъ быть такимъ образомъ значительно усилено. На этомъ основано устройство такъ называемыхъ **гальваноскоповъ**, т. е приборовъ, обнаруживающихъ присутствіе тока и опредѣляющихъ его направленіе.

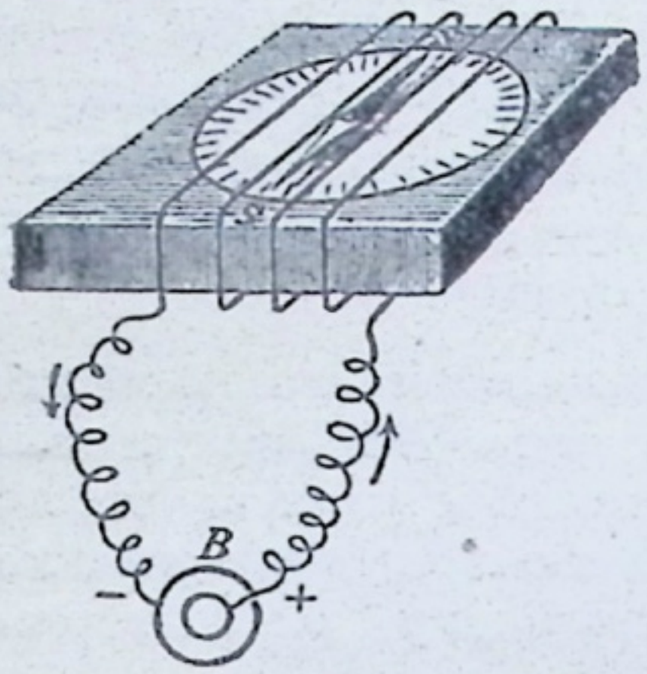


Фиг. 154.

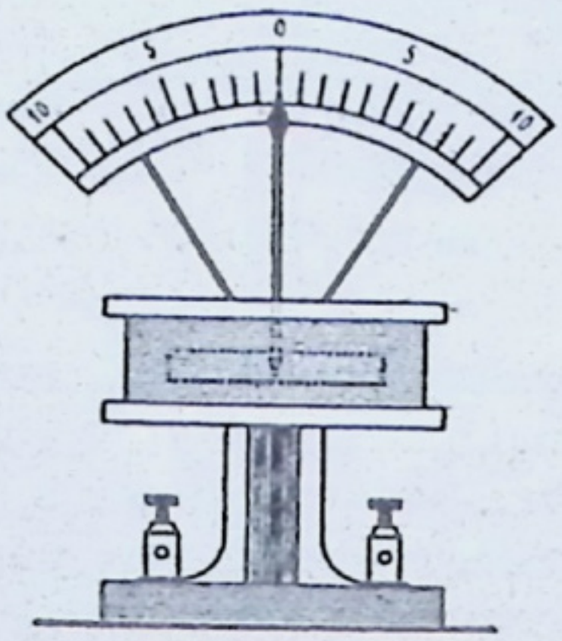
Простой гальваноскопъ можемъ устроить, окруживъ компасъ (фиг. 155) нѣсколькими оборотами проволоки. Для школьныхъ опытовъ удобнѣе вертикальный гальваноскопъ. (фиг. 156). Въ немъ магнитный стерженекъ подвѣшенъ какъ коромысло въ вѣсахъ и снабженъ указателемъ, прикрѣпленнымъ къ нему подъ прямымъ угломъ. Стерженекъ колеблется внутри катушки со многими оборотами проволоки.

Объясните, какъ употребляется такой гальваноскопъ. По какому признаку мы узнаемъ присутствіе тока, и по какому—его направленіе? Нельзя-ли по показаніямъ прибора судить, хотя-бы приблизительно, о силѣ тока?

Гальваноскопъ называютъ **гальванометромъ**, если онъ такъ устроенъ, что имъ можно измѣрять силу тока. Если при этомъ сила тока опредѣляется «въ амперахъ», то его называютъ амперметромъ.



Фиг. 155.



Фиг. 156.

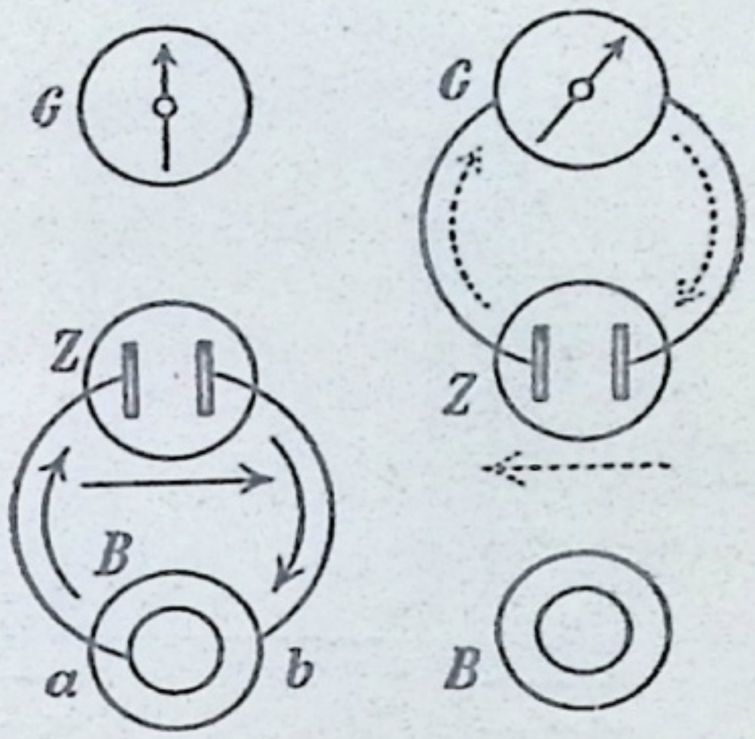
100. **Сопротивленіе**. Включимъ гальваноскопъ въ цѣпь гальванической батареи. Стрѣлка отклонится отъ начальнаго положенія, и величина этого отклоненія будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше сила тока. Если включимъ между батареей и гальваноскопомъ длинную и тонкую проволоку, отклоненіе гальваноскопа уменьшится. Очивидно, что сила гальваническаго тока уменьшилась, и мы приписываемъ это дѣйствіе такъ называемому **сопротивленію**, которое оказываетъ прохожденію тока введенная въ цѣпь проволока.

Подобно тому, какъ сопротивленіе, испытываемое текущей въ трубѣ водой, тѣмъ *больше*, чѣмъ *длиннѣе и уже* труба, и зависитъ кромѣ того отъ матеріала и состоянія водопроводныхъ трубъ, точно такъ же и электрическое сопротивленіе тѣмъ значительнѣе, чѣмъ длиннѣе и тоньше проволока; кромѣ того оно зависитъ и отъ матеріала проволоки. Проволоки изъ различнаго матеріала при одинаковыхъ размѣрахъ представляютъ не одинаковое сопротивленіе; такъ, въ слѣдующемъ ряду расположены металлы по возрастающей величинѣ ихъ сопротивленія: серебро, мѣдь, платина, желѣзо, нейзильберъ, ртуть (наполняющая стеклянную трубку). Мы можемъ также установить тотъ фактъ, что при одной и той же силѣ тока проволока нагрѣвается тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше ея сопротивленіе (§ 94).

Жидкости также оказываютъ сопротивленіе прохожденію тока и при томъ значительно большее, чѣмъ твердыя тѣла. *За единицу сопротивленія принимаютъ сопротивленіе столба ртути, длиной въ* 106 **цт** *и поперечнымъ сѣченіемъ въ* 1 **мм**^{2} (*при* 0° Ц.). *Эта единица сопротивленія называется* „**омомъ**“.

101. **Поляризація**. Батарея *B* (фиг. 157 I) соединена двумя проволоками съ приборомъ для разложенія воды *Z*. Подъ дѣйствіемъ тока, идущаго въ указанномъ стрѣлкою направленіи, въ *Z* происходитъ, какъ намъ извѣстно, разложеніе воды. Черезъ нѣкоторое время отдѣлимъ проволоки отъ батареи (у *a* и *b*) и

прикрѣпимъ ихъ къ клеммамъ гальваноскопа *G* (фиг. 157 II) *): Стрѣлка гальваноскопа укажетъ присутствіе тока, идущаго черезъ приборъ въ направленіи, указанномъ стрѣлками, т. е. противоположномъ прежнему направленію тока батареи (фиг. 157 I). Во время электролиза воды анодъ покрылся кислородомъ, а катодъ водородомъ; оба эти газа измѣняютъ электрическое состояніе электродовъ такимъ образомъ, что они становятся какъ бы двумя пластинками изъ разныхъ металловъ; потому, когда мы замыкаемъ цѣпь прибора, въ которомъ происходило разложеніе воды (фиг. 157 II), получается токъ, идущій въ жидкости отъ пластинки, покрытой водородомъ, къ другой, покрытой кислородомъ. Такъ какъ оба электрода стали какъ бы электрическими полюсами или поляризовались, то и получающійся токъ называютъ **поляризаціоннымъ токомъ.**



Фиг. 157.

Поляризаціонный токъ возникаетъ по мѣрѣ накопленія газовъ (фиг. 157, I) и, постепенно усиливаясь, ослабляетъ собой главный токъ.

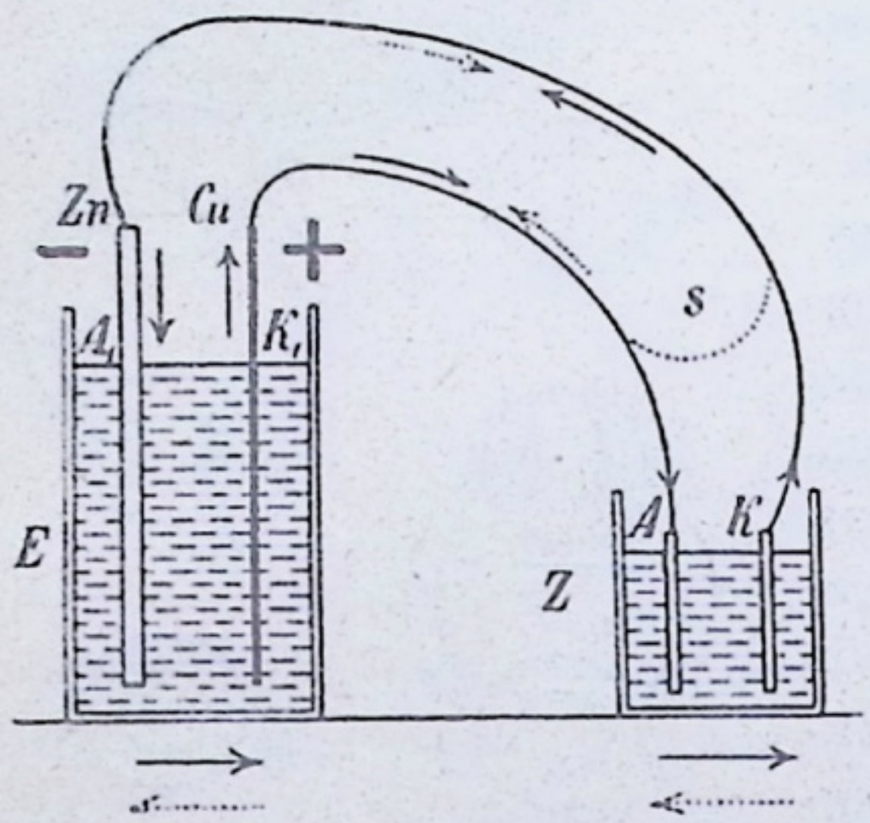
Если въ описанномъ опытѣ возьмемъ вмѣсто прибора для разложенія воды сосудъ, наполненный сѣрной кислотой (1 : 10), въ которую погружены два свинцовыхъ электрода, то при пропусканіи тока (заряжаніи) отъ батареи съ хромовой кислотой, выдѣляющійся на анодѣ кислородъ тотчасъ же соединяется со свинцомъ и образуетъ бурый слой перекиси свинца, между тѣмъ какъ на катодѣ выдѣляющійся водородъ превращаетъ бывшую тамъ окись свинца въ губчатый металлическій свинецъ, а когда этотъ процессъ закончится, поднимается въ видѣ пузырьковъ. Измѣненныя такимъ образомъ свинцовыя пластины оказываются поляризованными, и при замыканіи ихъ проводникомъ даютъ сильный поляризаціонный токъ, продолжающійся довольно долгое время, такъ какъ при достаточно продолжительномъ заряженіи получается слой перекиси свинца значительной толщины. На этомъ простомъ приборѣ мы знакомимся съ принципомъ устройства **аккумуляторовъ.** Затраченный при заряженіи токъ производитъ химическія измѣненія, которыя накопляются въ аккумуляторѣ, и послѣ могутъ дать очень равномѣрный разрядный токъ. Аккумуляторы примѣняются на центральныхъ электрическихъ станціяхъ, при освѣщеніи театровъ, для электрическихъ желѣзныхъ дорогъ и пр.

---

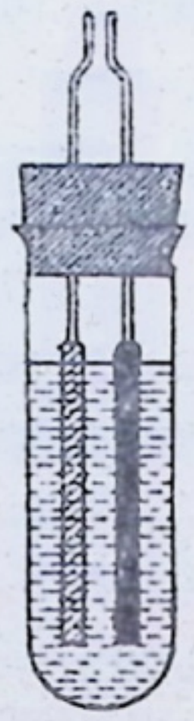
*) Лучше всего производить это переключеніе при помощи особаго механическаго приспособленія (переключателя).

102. **Непостоянные элементы.** Въ элементѣ Вольты также появляется при замыканіи поляризаціонный токъ, который быстро ослабляетъ главный токъ, даваемый элементомъ, такъ что послѣдній вскорѣ совсѣмъ прекращается: **элементъ Вольты** поэтому — **непостоянный элементъ.**

На фиг. 158 *E* изображаетъ элементъ Вольты, а *Z* сосудъ для разложенія воды. Если мы у *s* разомкнемъ проволоки, соединяющія оба прибора, и замкнемъ проволоки элемента короткой соединительной проволокой, то легко сообразить, что теперь самъ элементъ играетъ роль прибора для разложенія токомъ. Слѣдя за токомъ элемента, идущимъ въ направленіи, указанномъ сплошными стрѣлками, видимъ, что цинковая пластинка *Zn* представляетъ мѣсто входа тока (анодъ), а мѣдная пластинка *Cu* — мѣсто выхода (катодъ). На первой долженъ выдѣляться кислородъ, который соединяется съ цинкомъ и образуетъ окись цинка, которая, благодаря присутствію сѣрной кислоты, превращается въ сѣрнокислый цинкъ. Итакъ, тутъ цинкъ разъѣдается и превращается въ сѣрнокислый цинкъ. На катодѣ выдѣляется водородъ; онъ и вызываетъ поляризаціонный токъ, обратный главному (на рисункѣ онъ указанъ пунктирными стрѣлками). Токъ, получаемый отъ элемента, поэтому постепенно ослабѣваетъ и, наконецъ, совсѣмъ прекращается.



Фиг. 158.



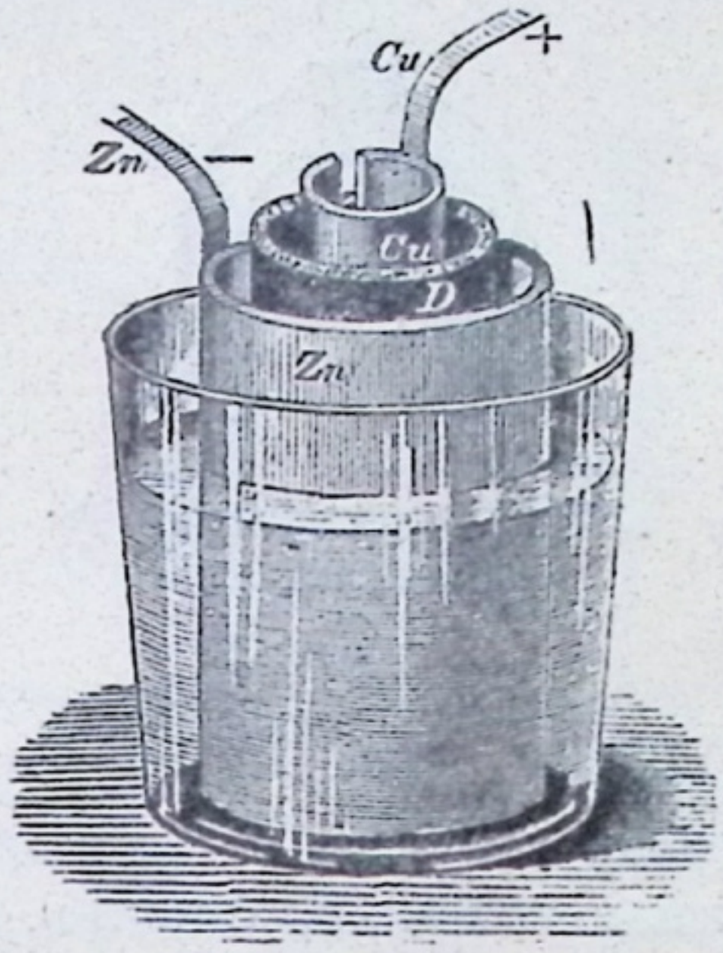
Фиг. 159.

Составимъ элементъ Вольты изъ пробирки и полоски цинка и мѣди (см. фиг. 159). Мы можемъ въ немъ легко подмѣтить появленіе пузырьковъ водорода на мѣдной пластинкѣ въ тотъ моментъ, когда замкнемъ элементъ (сжимая присоединенныя къ полюсамъ проволоки). Въ то-же время мы видимъ, какъ съ цинковой пластинки струйками стекаетъ болѣе тяжелый (по удѣльному вѣсу) сѣрнокислый цинкъ.

103. **Постоянные элементы.** Желая устроить **постоянные элементы,** мы должны или какъ-нибудь химически удалить водородъ, вызывающій поляризаціонный токъ, или же устроить элементъ такъ, чтобы вмѣсто водорода токъ выдѣлялъ какое нибудь вещество, не поляризующее элементъ.

Согласно послѣднему требованію устроенъ элементъ Даніэля (фиг. 160). Въ стеклянный сосудъ вставлена цилиндрически изогнутая цинковая пластинка *Zn* и налита разведенная сѣрная кислота. Внутри цинковой пластинки стоитъ цилиндрическій пористый глиняный сосудъ *D*, въ который налитъ концентрированный

растворъ мѣднаго купороса и вставлена мѣдная цилиндрическая пластинка *Cu*. При замыканіи этого элемента на мѣди выдѣляется не водородъ, а мѣдь. Такимъ образомъ, положительной пластинкой все время служитъ чистая мѣдь, и сила тока остается неизмѣнной, если только будемъ все время поддерживать растворъ мѣднаго купороса насыщеннымъ, т. е. время отъ времени будемъ подсыпать внутрь глинянаго сосуда нѣсколько кристалловъ мѣднаго купороса.



Фиг. 160.

Этотъ элементъ примѣняется на телеграфныхъ станціяхъ; онъ даетъ совершенно постоянный токъ въ теченіе нѣсколькихъ недѣль.

На удаленіи химическимъ путемъ выдѣляющагося водорода основанъ элементъ Бунзена. Онъ устроенъ подобно элементу Даніэля, только внутри пористаго сосуда налита концентрированная азотная кислота и вставлена угольная пластинка (изъ ретортнаго угля, получаемаго на газовыхъ заводахъ). Богатая кислородомъ азотная кислота превращаетъ выдѣляющійся на угольной пластинкѣ водородъ въ воду, дѣлая его, такимъ образомъ, безвреднымъ.

Такъ какъ азотная кислота разбавляется образующейся водой, а часть ея выдѣляется въ видѣ соединеній съ меньшимъ содержаніемъ кислорода (двуокись азота, красновато-бурый газъ съ непріятнымъ запахомъ, очень вредный для здоровья), то элементъ, разъ наполненный, можетъ давать постоянный токъ лишь въ теченіе нѣсколькихъ часовъ. Токъ этотъ можетъ быть зато очень сильный. Вслѣдствіе выдѣленія опасныхъ для здоровья паровъ двуокиси азота его нельзя примѣнять въ закрытыхъ помѣщеніяхъ.

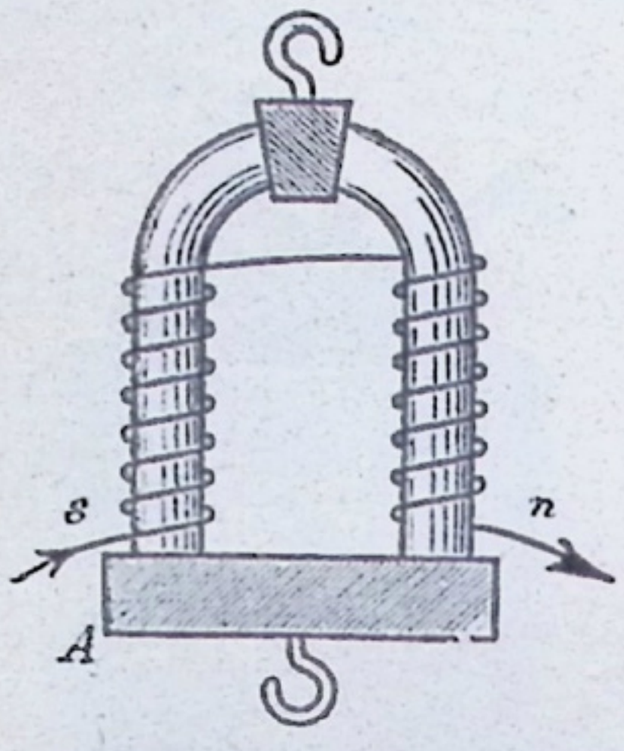
Въ элементѣ съ хромовой кислотой, богатой кислородомъ, (§ 93) (элементъ Грене) водородъ, выдѣляющійся на угольной пластинкѣ, обращается въ воду. Онъ даетъ поэтому довольно сильный токъ, остающійся постояннымъ въ теченіе нѣкотораго времени. Такъ какъ его можно въ любое время заставить дѣйствовать, и при этомъ онъ не выдѣляетъ никакихъ вредныхъ паровъ, то онъ является особенно удобнымъ для школьныхъ опытовъ.

Въ элемнтѣ Лекланше угольная пластинка въ пористомъ сосудѣ окружается смѣсью изъ толченаго кокса и перекиси марганца, цинкъ же погруженъ въ растворъ нашатыря. Элементы Лекланше употребляются при электрическихъ звонкахъ; разъ заряженные они служатъ въ теченіе многихъ мѣсяцевъ.

Во всѣхъ этихъ элементахъ отрицательнымъ полюсомъ служитъ цинкъ. Благодаря пористому сосуду жидкости соприкасаются, такъ что токъ не размыкается, но смѣшеніе растворовъ не происходитъ.

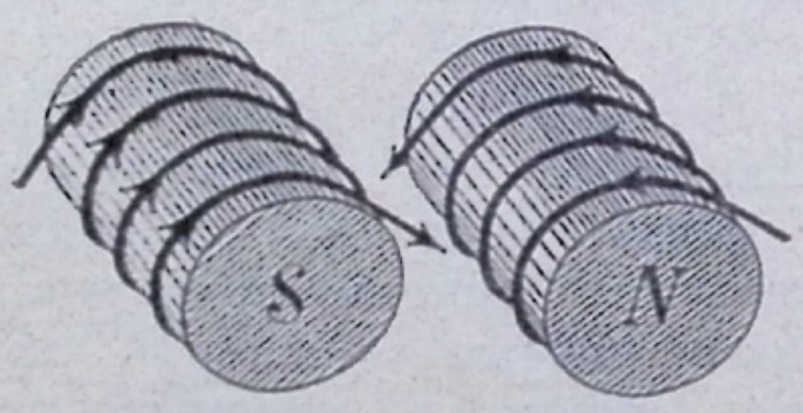
104. **Электромагнитъ.** Обмотаемъ изолированной проволокой въ видѣ спирали прямой или подковообразный кусокъ мягкаго

желѣза (фиг. 161) и пропустимъ черезъ нее электрическій токъ. Желѣзо намагнитится. Чуть прервемъ токъ, желѣзо потеряетъ пріобрѣтенный магнитизмъ. Если повторимъ опытъ съ кускомъ стали (напр. стальной иглоїї), то убѣдимся, что она сохранитъ магнитныя свойства и послѣ прекращенія тока. Если пустимъ токъ черезъ обмотку желѣзнаго стержня (сердечника) въ направленіи обратномъ первоначальному, то и магнитные полюсы на концахъ сердечника перемѣнятся мѣстами. Такой желѣзный стержень, намагниченный дѣйствіемъ электрическаго тока, называютъ **электромагнитомъ**. Электромагнитъ изъ мягкаго желѣза обладаетъ магнитными свойствами, лишь пока проходитъ токъ (временный магнитъ); если же вмѣсто мягкаго желѣза возьмемъ сталь, то магнитныя свойства сохранятся на долго (постоянный магнитъ).



Фиг. 161.

Если присоединимъ къ электромагниту изъ мягкаго желѣза якорь, то послѣдній не отпадаетъ при прекращеніи тока. Итакъ, снабженный якоремъ желѣзный сердечникъ удерживаетъ часть магнитизма (такъ называемый остаточный магнитизмъ). Для того, чтобы не получалось остаточнаго магнитизма, нужно оставить между якоремъ и полюсами слой воздуха или же тонкій слой бумаги, дерева, латуни или же иного не намагничиваемаго тѣла.



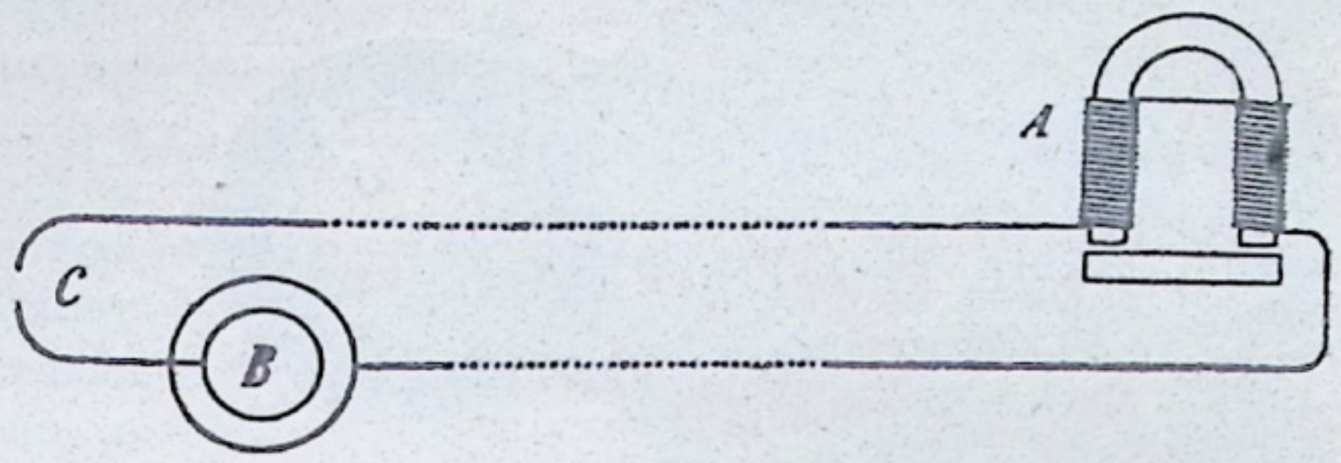
Фиг. 162.

Полюсы электромагнита можно опредѣлить заранѣе по правилу Ампера. Если представимъ себѣ наблюдателя, лежащаго по направленію тока и обращеннымъ лицомъ къ сердечнику, то сѣверный полюсъ сердечника получится слѣва отъ него. Или проще запомнить слѣдующее правило: Если для наблюдателя, смотрящаго на данный конецъ электромагнита, токъ представляется идущимъ по часовой стрѣлкѣ, то ближайшій къ наблюдателю конецъ стержня будетъ южнымъ, а удаленный—сѣвернымъ полюсомъ. Провѣрьте на фиг. 162, что оба правила приводятъ къ одному и тому-же результату.

При помощи электрическаго тока можно получить болѣе сильные магниты. Сила электромагнита зависитъ: 1) отъ силы электрическаго тока, 2) отъ числа оборотовъ проволоки, 3) отъ толщины желѣзнаго сердечника. Однако, при данной величинѣ электромагнита мы можемъ усилить его, усиливая токъ и увеличивая

число оборотовъ, только до нѣкотораго предѣла, когда наступаетъ, какъ мы говоримъ, насыщеніе. Мы можемъ себѣ представить въ согласіи съ разсмотрѣннымъ въ § 70, что тогда уже всѣ элементарные магниты направлены въ одну сторону.

105. **Электрическій телеграфъ.** Соединимъ длинными проволоками электромагнитъ *A* (фиг. 163), подъ полюсами котораго находится якорь изъ мягкаго желѣза, съ отдаленнымъ пунктомъ *C*, включивши въ какомъ нибудь мѣстѣ *B* въ цѣпь батарею. Если въ *C* мы приведемъ концы проволокъ въ соприкосновеніе, то въ *A* якорь притянется электромагнитомъ. Когда концы въ *C* разъединимъ, якорь въ *A* отпадетъ*). При этомъ, имѣя въ распоряженіи достаточно сильную батарею, мы можемъ взять между *A* и *C* разстояніе въ нѣсколько километровъ.



Фиг. 163

На этомъ и основанъ **электрическій телеграфъ.** Въ немъ электромагнитъ съ якоремъ передаетъ сигналы, а отправляютъ ихъ изъ *C*, либо непосредственно приводя концы проволокъ въ соприкосновеніе, либо при помощи особаго приспособленія.

Если въ *C* будемъ замыкать токъ только на мгновеніе, то и въ *A* якорь только на мгновеніе притянется электромагнитомъ. Если замыканіе длится дольше, то и якорь будетъ дольше удержанъ. Поэтому уже при помощи представленнаго на фиг. 163 приспособленія можно давать два сигнала. Если короткій сигналъ обозначимъ точкой, а продолжителный черточкой, то при помощи комбинацій изъ точекъ и черточекъ можно представить всѣ буквы алфавита, напр.: а · —, б — · · · и т. д. и такимъ же образомъ можно условно обозначить цифры, знаки препинанія и т. п.

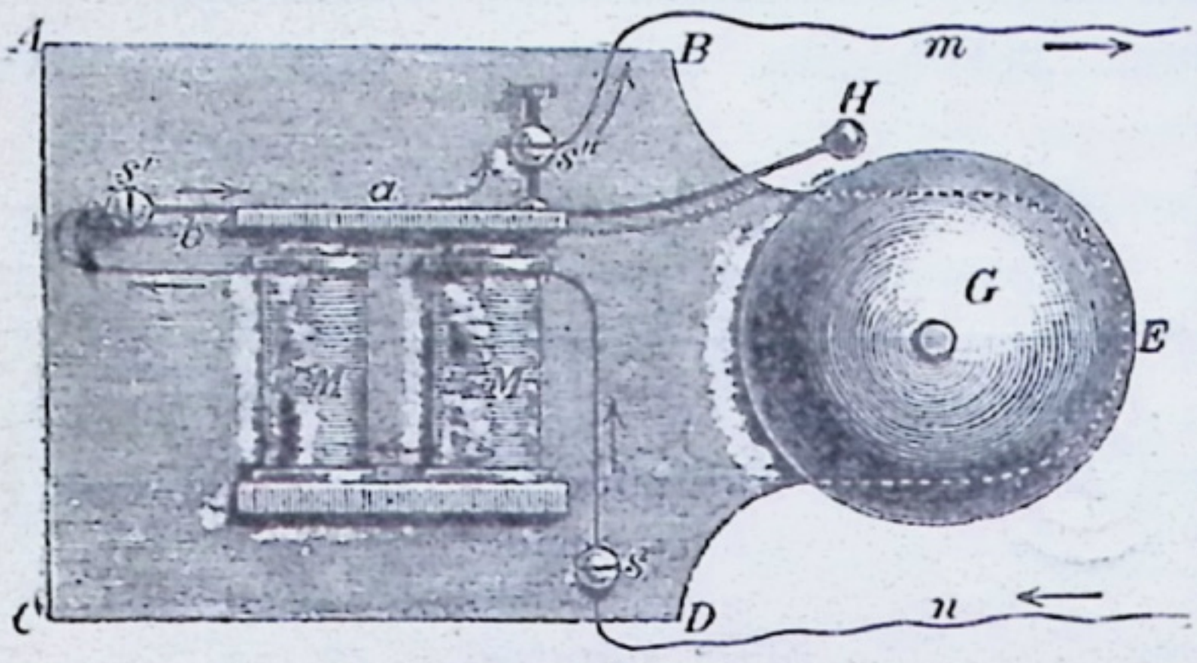
Благодаря огромной скорости электрическаго тока, якорь на станціи *A* притягивается почти въ тотъ-же моментъ, какъ замыкается токъ на станціи *C*, хотя бы обѣ станціи находились очень далеко другъ отъ друга.

106. **Электрическій звонокъ.** Якорь электромагнита *A* можно устроить такъ, чтобы, притягиваясь, онъ давалъ какой нибудь звуковой сигналъ, напр. ударялъ молоточкомъ въ колокольчикъ. Обыкновенно **электрическій звонокъ** устраиваютъ такъ, что все время, пока токъ въ *C* замкнутъ, въ *A* раздается звонъ.

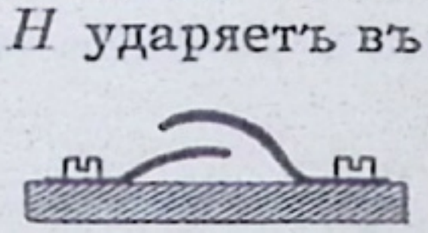
---

*) Вслѣдствіе явленія остаточнаго магнитизма полюсы магнита нужно при этомъ оклеить бумагой.

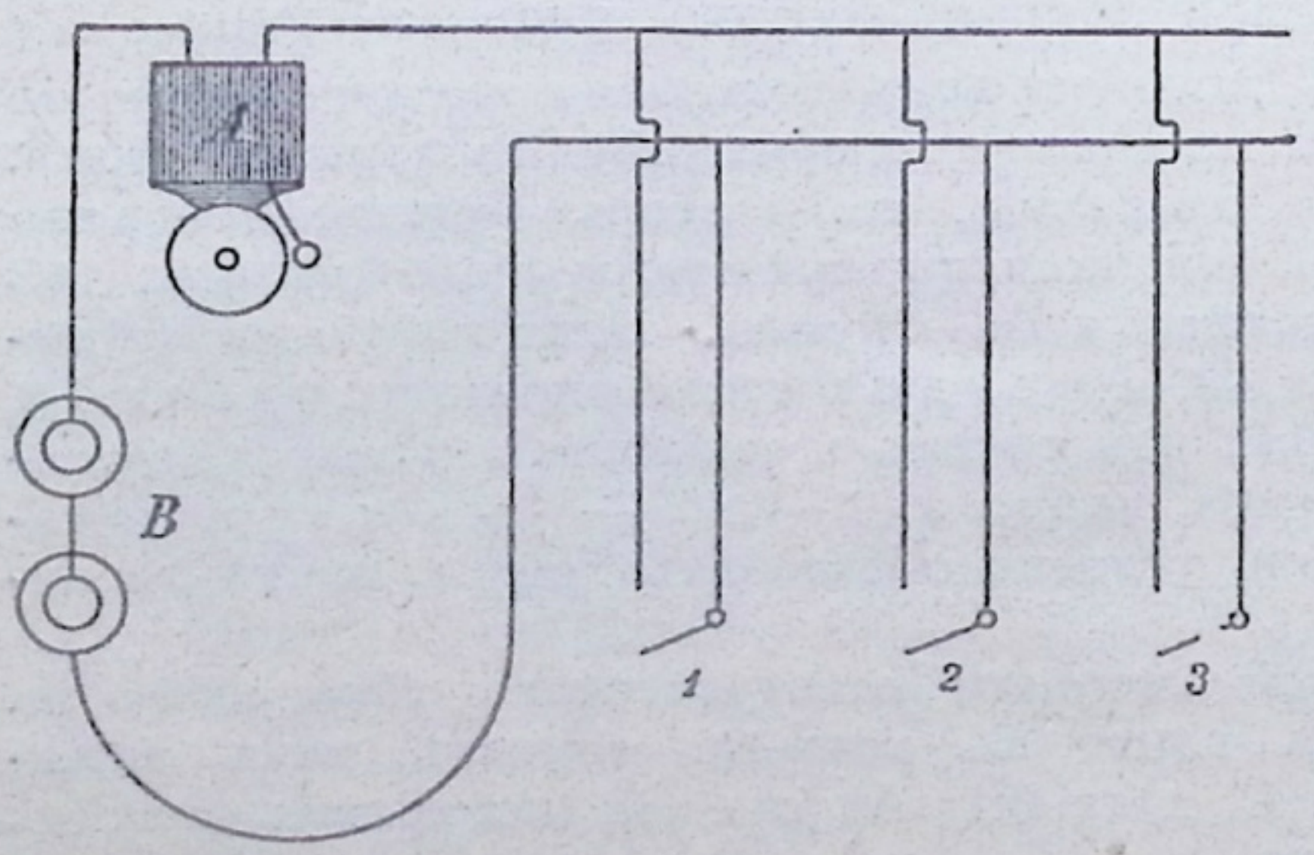
Въ электрическомъ звонкѣ на деревянной доскѣ *A B C D E* (фиг. 164) укрѣплены два желѣзныхъ сердечника *M M* электромагнита, окруженные многочисленными оборотами проволоки; концы проволокъ приведены къ зажимамъ *s* и *s'*. Противъ полюсовъ электромагнита находится желѣзный якорь *a* съ молоточкомъ *H*, поддерживаемый упругой желѣзной пластинкой *b*. Вблизи молоточка укрѣпленъ колокольчикъ *G*; желѣзная пластинка *b* соединена металлически съ зажимомъ *s'*, а, слѣдовательно, и съ зажимомъ *s*; а желѣзный якорь *a* касается винта, проходящаго черезъ зажимъ *s''*. Если зажимъ *s''* соединимъ съ однимъ полюсомъ батареи, а къ другому ея полюсу и къ зажиму *s* прикрѣпимъ по проволокѣ, то можемъ замыкать токъ, соединяя концы этихъ проволокъ. Звонокъ звонитъ все время, пока концы проволокъ соприкасаются, т. е. пока токъ замкнутъ. Это происходитъ такимъ образомъ: когда токъ проходитъ черезъ обороты проволокъ, сердечники *M M* намагничиваются; они притягиваютъ якорь *a*, и молоточекъ *H* ударяетъ въ колокольчикъ *G*. Однако въ тотъ моментъ, когда якорь перестаетъ касаться винта *s''*, токъ прерывается; упругая пластинка *b* оттягиваетъ якорь въ прежнее положеніе; онъ снова касается винта *s''*, токъ замыкается и снова повторяется то-же явленіе и т. д.



Фиг. 164.



Фиг. 165.



Фиг. 166.

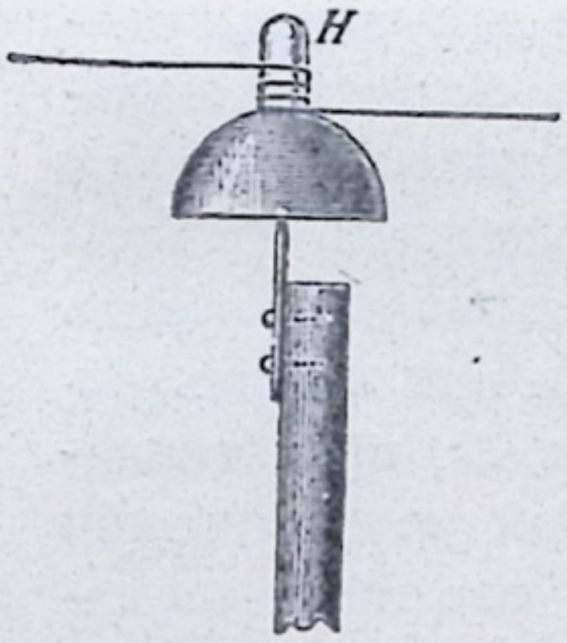
Подобные звонки устраиваютъ на желѣзнодорожныхъ станціяхъ, въ домахъ и т. п. Токъ замыкаютъ обыкновенно, нажимая кнопку, устройство которой видно изъ фиг. 165. На круглой дощечкѣ укрѣплены двѣ металлическія пружинки, соединенныя одна съ однимъ, а другая съ другимъ концомъ металлической проводки (у *C* на рис. 163). Нажимая верхнюю пружинку до соприкосновенія съ нижней, мы замыкаемъ токъ и вызываемъ звонъ. Съ прекращеніемъ давленія верхняя пружинка благодаря своей упругости возвращается въ прежнее по-

ложеніе; токъ прерывается, и колокольчикъ перестаетъ звонить. Чтобы защитить пружинки отъ поврежденій ихъ заключаютъ въ деревянный футляръ и нажимаютъ верхнюю пружинку при помощи пуговки, проходящей черезъ крышку футляра. Фиг. 166 даетъ схему, какимъ образомъ любой кнопкой изъ цѣлаго ряда можно заставить колокольчикъ звонить.

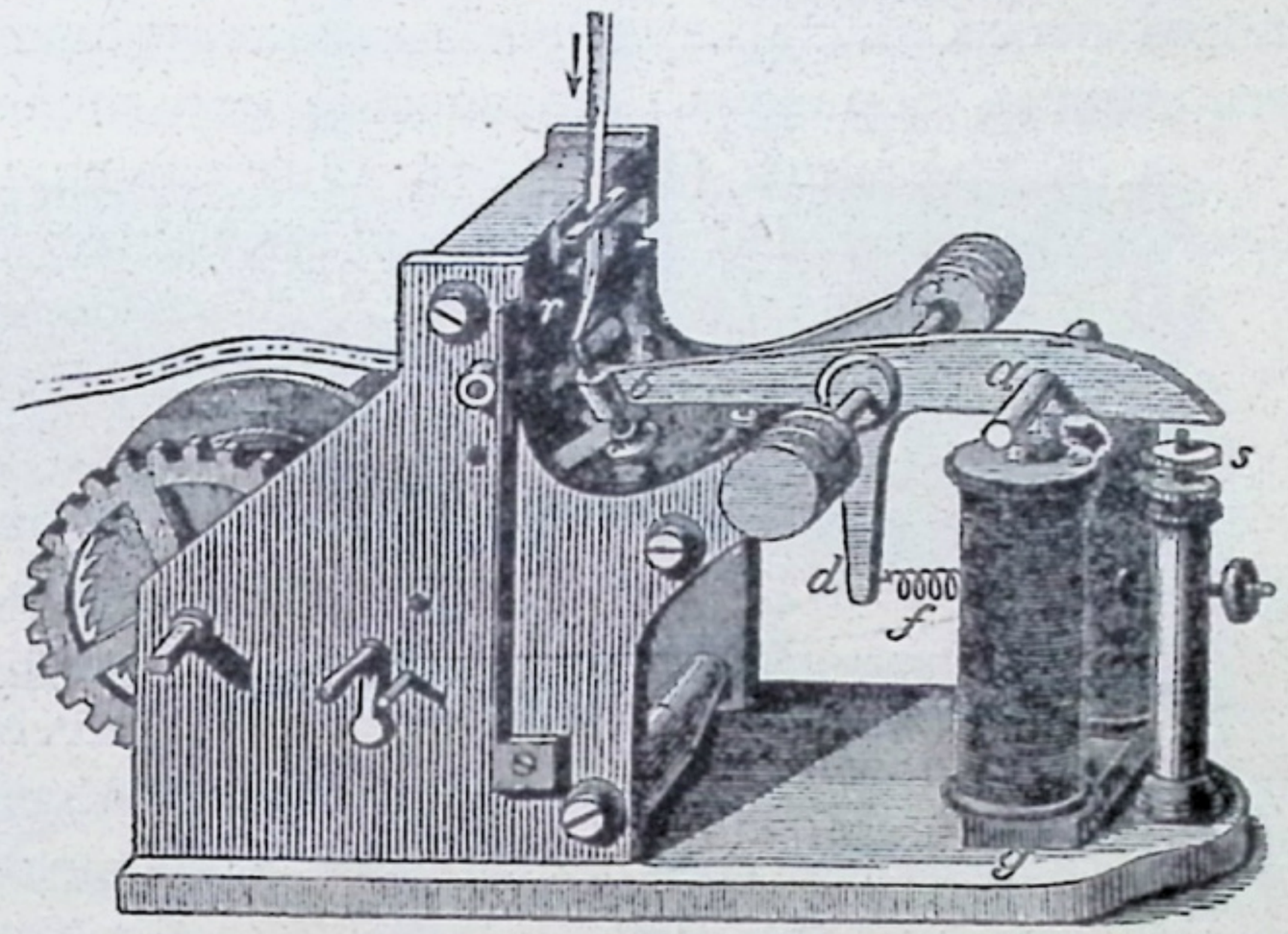
107. **Пишущій телеграфъ Морзе.** Наиболѣе распространеннымъ типомъ электрическаго телеграфа является **пишущій телеграфъ Морзе.** Главныя его части слѣдующія:

1. Батарея, дающая электрическій токъ. Для этой цѣли берутъ очень часто батарею изъ элементовъ Даніэля; число элементовъ зависитъ отъ разстоянія, на которое желаютъ телеграфировать.

2. Провода (телеграфная линія) состоятъ изъ толстой желѣзной проволоки, снаружи оцинкованной или покрытой лакомъ;



Фиг. 167.



Фиг. 168.

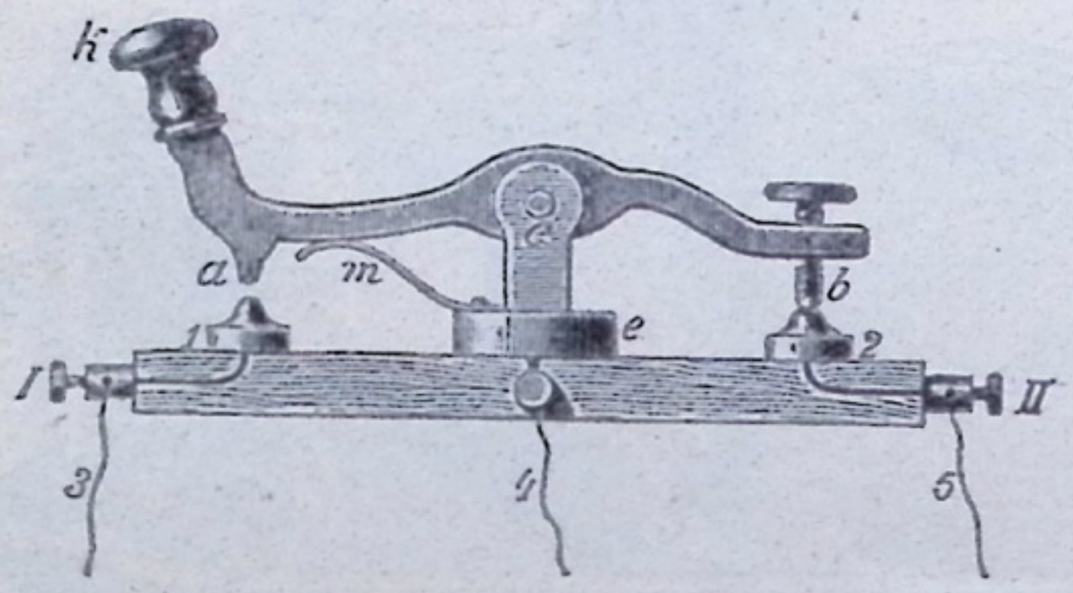
проволока подвѣшивается на деревянныхъ столбахъ высотою въ 6 — 16 м или же на желѣзныхъ кронштейнахъ, которые укрѣпляются въ землѣ или на зданіяхъ на разстояніи 40 м и болѣе другъ отъ друга. Для того, чтобы токъ не могъ по пути уйти въ землю, проволока обматывается вокругъ фарфоровыхъ стаканчиковъ *H* (фиг. 167), укрѣпленныхъ на столбахъ.

Если телеграфные провода приходится вести въ землѣ или даже въ водѣ, то необходимо ихъ хорошо изолировать. хлопчатой бумагой, гуттаперчей и т. п. (телеграфный кабель).

3. Пишущій приборъ (фиг. 168). Пишущій приборъ Морзе устроенъ слѣдующимъ образомъ: электромагнитъ

состоитъ изъ двухъ катушекъ S, надѣтыхъ на сердечники изъ мягкаго желѣза, соединенныхъ между собой поперечной желѣзной полосой g. При прохожденіи тока электромагнитъ притягиваетъ якорь a и поворачиваетъ скрѣпленный съ нимъ рычагъ около оси c, при чемъ штифтъ b, находящійся на другомъ концѣ рычага, прижимается къ движущейся въ направленіи, указанномъ стрѣлкой, полоскѣ бумаги и оставляетъ на ней слѣдъ въ видѣ точки или черточки, смотря по тому, какъ долго былъ притянутъ электромагнитомъ якорь. Полоска бумаги приводится въ равномѣрное движеніе часовымъ механизмомъ, который сматываетъ ее съ барабана, на который она навернута. Когда токъ въ электромагнитѣ прерывается, рычагъ съ якоремъ приводится въ начальное положеніе натянутой пружиной f, прикрѣпленной къ отростку d. Особымъ регулирующимъ винтомъ s мы не даемъ якорю касаться сердечниковъ электромагнита и предупреждаемъ такимъ образомъ образованіе остаточнаго магнитизма.

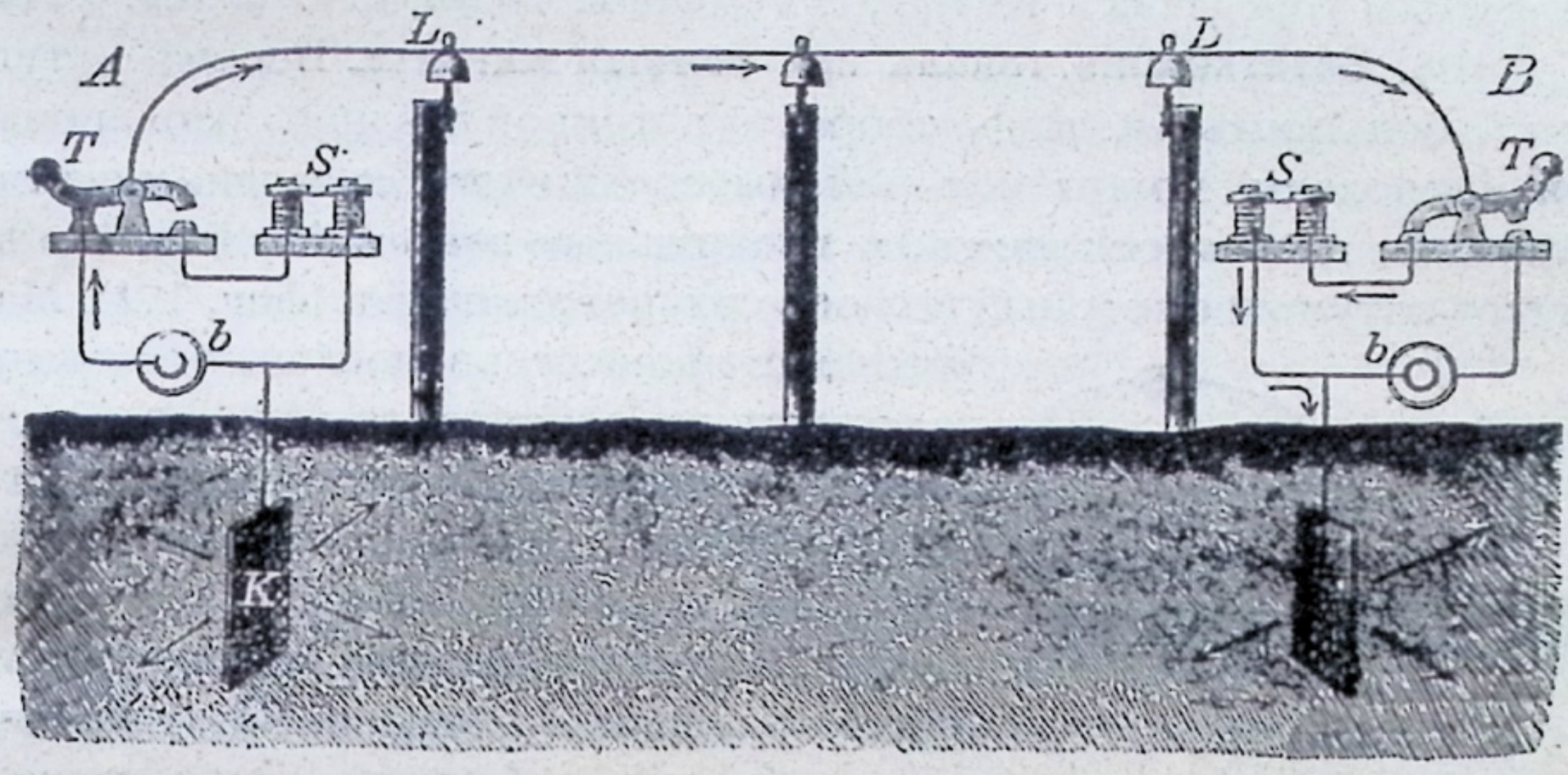
4. Клавиша (фиг. 169). Она служитъ для замыканія и размыканія батареи. На деревянной подставкѣ около оси c вращается металлическій рычагъ ab, снабженный ручкой k. Пружинка m всегда стремится приподнять рычагъ. *1* и *2* представляютъ собой металлическія пуговки, соединенныя металлически посредствомъ зажимовъ *I* и *II* съ проволоками *3* и *5*. Проволока *3* соединяетъ клавишу съ положительнымъ полюсомъ батареи, а проволока 5 ведетъ къ пишущему аппарату собственной станціи. Проволока *4* соединяетъ рычагъ ab съ проводами, ведущими къ другой станціи. При нажимѣ рычага въ k пуговки a и *1* касаются другъ друга; когда не нажимаютъ рычага, то въ соприкосновеніи находятся винтикъ b съ пуговкой *2*, благодаря чему электрическій токъ можетъ изъ проволоки *4* итти въ проволоку *5*.



Фиг. 169.

На фиг. 170 изображена схема соединеній между двумя телеграфными станціями A и B. При нажимѣ клавиши на станціи A замыкается батарея b; токъ идетъ въ направленіи стрѣлки черезъ телеграфную линію L на станцію B, проходитъ по обмоткѣ сердечниковъ пишущаго прибора S, намагничивая электромагнитъ, и уходитъ въ землю. На обѣихъ станціяхъ закапываютъ

въ землю, а если возможно, то въ подпочвенныя воды мѣдную пластину *K*, соединенную проволокой со вторымъ полюсомъ батареи *b*. Заряды уходятъ съ мѣдныхъ пластинъ въ землю по всѣмъ направленіямъ и безслѣдно въ ней исчезаютъ, благодаря чему къ пластинамъ можетъ снова притекать электричество. Если бы не пользовались землей, то пришлось бы всегда вести двѣ проволоки между двумя станціями. Такъ какъ черезъ землю токъ не возвращается обратно, то оказывается возможнымъ телеграфировать между двумя станціями одновременно по нѣсколькимъ проводамъ безъ всякаго препятствія. Пользованіе землей вмѣсто второго провода было предложено Штейнгелемъ.



Фиг. 170.

Когда клавиша на станціи *A* не работаетъ, то токъ, идущій со станціи *B*, проходитъ черезъ клавишу въ пишущій аппаратъ станціи *A*, а оттуда черезъ мѣдную пластину *K* въ землю.

По вечерамъ часто бываетъ слышенъ вблизи телеграфныхъ столбовъ особый шумъ. Такъ какъ телеграфные провода послѣ захода солнца вслѣдствіе охлажденія сильно укорачиваются и поэтому проволоки натягиваются, то всякое движеніе воздуха заставляетъ ихъ дрожать; отсюда и возникаетъ гулъ около телеграфныхъ столбовъ. Во время грозы слѣдуетъ прерывать на станціяхъ сообщеніе съ линіей. Почему?

Переданное по телеграфу извѣстіе называютъ телеграммой.

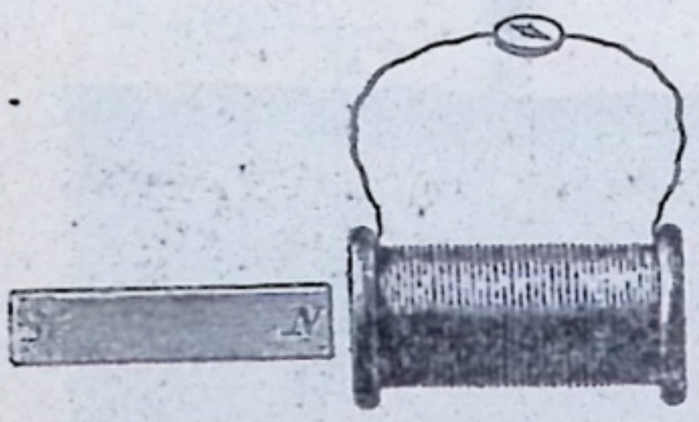
Электромагнитный телеграфъ представляетъ одно изъ величайшихъ изобрѣтеній XIX вѣка; мы обязаны его открытіемъ нѣмецкимъ ученымъ Гауссу и Веберу (Геттингенъ въ 1833 г.). Морзе въ Америкѣ изобрѣлъ названный по его имени пишущій приборъ. Въ послѣднее время очень широкое распространеніе получилъ телеграфъ Юза, который печатаетъ телеграммы сразу по обыкновенному алфавиту.

Кромѣ электрическихъ телеграфовъ бываютъ еще свѣтовые и звуковые. Оптическіе (свѣтовые) телеграфы (сигналы факелами, дымомъ, кострами) были извѣстны еще въ глубокой древности и примѣняются часто и до сихъ

поръ въ военномъ дѣлѣ и для переговоровъ между кораблями на морѣ (сигналы флагами). Къ оптическимъ же телеграфамъ принадлежатъ и нѣкоторые сигнальные аппараты на желѣзныхъ дорогахъ (семафоры). Для передачи извѣстій звуковымъ путемъ служатъ выстрѣлы изъ пушекъ, сигнальные звонки и т. п.

Непрерывно замыкая и прерывая токъ въ телеграфѣ Морзе, мы можемъ заставить записывающій рычажекъ все время двигаться вверхъ и внизъ. Изобрѣтены также и такіе приборы, въ которыхъ нѣкоторыя части ихъ при помощи электромагнитовъ приводятся въ непрерывное вращеніе. Ихъ называютъ **электрическими моторами** и употребляютъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ вмѣсто паровыхъ машинъ; такъ, электрическими моторами приводятся въ движеніе вагоны городскихъ желѣзныхъ дорогъ, лодки и т. п. (ср. § 112).

108. **Возбужденіе токовъ при помощи магнита.** Беремъ катушку съ большимъ числомъ оборотовъ тонкой мѣдной изолированной проволоки, концы которой мы соединяемъ съ очень чувствительнымъ гальваноскопомъ, и вводимъ возможно быстрѣе внутрь катушки сѣверный полюсъ сильнаго магнита (фиг. 171). Магнитная стрѣлка гальваноскопа отклонится и тотчасъ-же вернется въ начальное положеніе. Теперь быстро выдернемъ магнитъ изъ катушки; магнитная стрѣлка отклонится въ противоположную сторону. Тѣ-же явленія, но только нѣсколько меньшія отклоненія гальваноскопа, будемъ наблюдать, если станемъ быстро приближать къ катушкѣ сѣверный полюсъ магнита или удалять его. Приближая и удаляя южный полюсъ магнита, также получимъ отклоненія въ гальваноскопѣ, но въ направленіи обратномъ тому, которое наблюдалось при томъ-же движеніи съ сѣвернымъ полюсомъ. Тѣ-же явленія получаются, если внутрь катушки положимъ стержень изъ мягкаго желѣза и къ нему будемъ быстро приближать и удалять сильный магнитный полюсъ. При этомъ внутри катушки внезапно появляется магнитный полюсъ (чрезъ вліяніе), что равносильно тому, какъ если бы мы просто вдвигали этотъ полюсъ въ катушку.



Фиг. 171.

Мы узнаемъ изъ этихъ опытовъ, что быстрымъ приближеніемъ магнита къ замкнутому проводнику, а также быстрымъ его удаленіемъ можно вызвать въ проводникѣ электрическіе токи. Они длятся лишь очень короткое время и направлены въ противоположныя стороны, смотря по тому, приближаемъ ли мы магнитный по-

люсь или удаляемъ. Противоположные магнитные полюсы вызываютъ при приближеніи (а также при удаленіи) противоположные токи.

Эти токи называютъ по Фарадею, который открылъ ихъ (въ 1831 г.), **индукціонными (наведенными) токами.**

Если будемъ медленно двигать магнитъ въ описанныхъ опытахъ, то получимъ значительно меньшія отклоненія электроскопа; мы можемъ при этомъ подмѣтить, что индукціонный токъ длится лишь только до тѣхъ поръ, пока магнитъ измѣняетъ свое положеніе, неподвижный магнитъ не можетъ вызвать индукціоннаго тока. — Тѣ-же результаты, что и выше, получимъ въ томъ случаѣ, если магнитъ оставимъ неподвижнымъ, а будемъ передвигать катушку. Итакъ, наведеніе токовъ магнитомъ обусловливается измѣненіемъ взаимнаго положенія магнитнаго поля (съ его системой силовыхъ линій) и катушки.

109. **Возбужденіе (наведеніе) токовъ токами.** Вмѣсто магнита, которымъ мы пользовались въ предыдущихъ опытахъ, возьмемъ теперь вторую катушку съ сравнительно небольшимъ числомъ оборотовъ изъ толстой проволоки, черезъ которую проходитъ сильный токъ; при удаленіи или приближеніи этой катушки (индуцирующей или наводящей катушки) въ катушкѣ, соединенной съ гальванометромъ, снова возникаютъ наведенные токи. Какъ и въ предыдущемъ случаѣ, токъ, наведенный при приближеніи катушки и токъ, наведенный при удаленіи ея, направлены противоположно.

Наведеніе токовъ катушкой подобно магниту (хотя и въ болѣе слабой степени) объясняется тѣмъ, что катушка, черезъ которую идетъ токъ, вообще дѣйствуетъ какъ, магнитъ. Вспомнимъ также о магнитномъ дѣйствіи электрическаго тока (§ 99 и 104)!

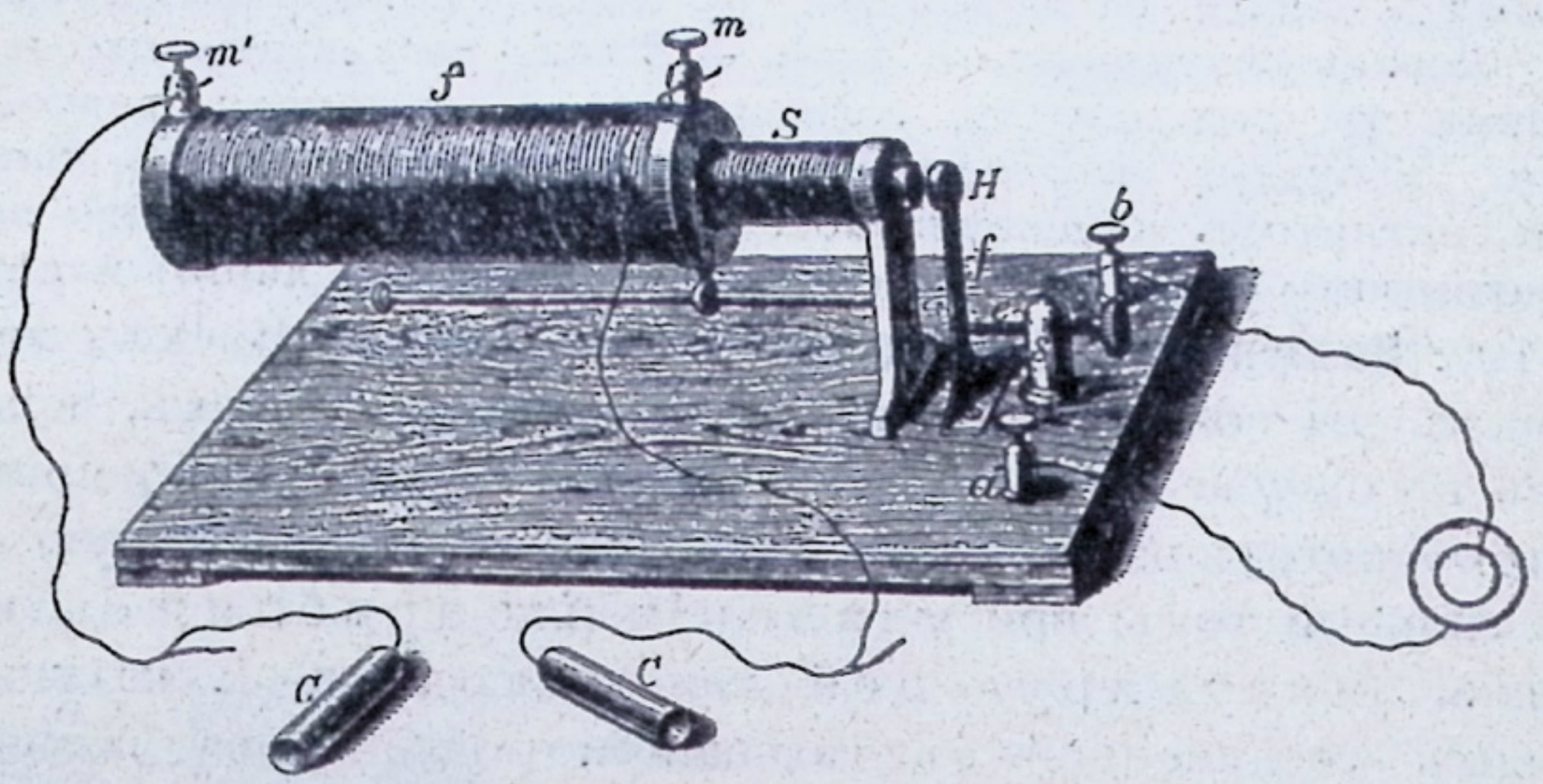
Если наводящую катушку помѣстимъ внутри другой и будемъ въ ней замыкать и прерывать токъ, то наведенные токи будутъ имѣть послѣдовательно то-же направленіе, что при приближеніи и при удаленіи катушки.

Помѣстимъ внутри наводящей катушки стержень изъ мягкаго желѣза или пучекъ изъ мягкихъ желѣзныхъ проволокъ и повторимъ затѣмъ произведенные опыты. Увидимъ, что отклоненія гальваноскопа будутъ теперь сильнѣе, чѣмъ прежде; мы имѣемъ дѣло одновременно съ наведеніемъ токовъ токами и магнитомъ.

110. **Индукціонная катушка.** Если катушка, въ которой наводится токъ, имѣетъ очень много по сравненію съ наводящей катушкой оборотовъ тонкой, хорошо изолированной проволоки, то наведенные токи обнаруживаютъ сравнительно высокій по-

тенціалъ*); по производимымъ дѣйствіямъ они уже близки къ токамъ, даваемымъ электрической машиной. Поэтому **индукціонные токи** пригодны для полученія сильнаго дѣйствія электричества на человѣческое тѣло (ср. стр. 120, § 88*d*.), а именно **для лѣченія** при параличахъ, нервныхъ заболѣваніяхъ и т. п., а затѣмъ **для полученія сильныхъ искръ.**

Индукціонная катушка для лечебныхъ цѣлей изображена на фиг. 172. Она состоитъ изъ катушки *f* съ большимъ числомъ оборотовъ тонкой мѣдной проволоки, внутри которой помѣщена наводящая катушка *S* съ обмот-



Фиг. 172.

ками изъ толстой мѣдной проволоки. Внутри послѣдней находится еще желѣзный сердечникъ. Когда черезъ катушку *S* съ желѣзнымъ сердечникомъ проходитъ электрическій токъ, она становится электромагнитомъ. Передъ концомъ сердечника на пружинкѣ *f* укрѣплена круглая желѣзная пластинка, такъ называемый молоточекъ *H*. Пружинка *f* въ состояніи покоя упирается въ винтъ *e*, проходящій черезъ столбикъ *s*. Токъ батареи поступаетъ черезъ зажимъ *a* въ обороты наводящей катушки *S*, затѣмъ черезъ пружинку *f*, винтъ *e* и металлическій столбикъ *s* къ зажиму *b* и оттуда обратно въ батарею; такимъ образомъ цѣпь замкнута. Но вслѣдствіе прохожденія тока желѣзный сердечникъ катушки *S* становится электромагнитомъ и притягиваетъ молоточекъ *H*, при чемъ пружинка *f* перестаетъ касаться винта *e* и токъ прерывается; молоточекъ быстро отскакиваетъ назадъ, касается винта *e*, и токъ снова замкнутъ и т. д. Движенія молоточка происходятъ настолько быстро, что мы не различаемъ отдѣльныхъ ударовъ, а слышимъ непрерывный звукъ. При каждомъ размыканіи и замыканіи тока въ наружной катушкѣ наводится токъ. Если присоединимъ къ зажимамъ наружной катушки металлическія проволоки, заканчивающіяся метал-

---

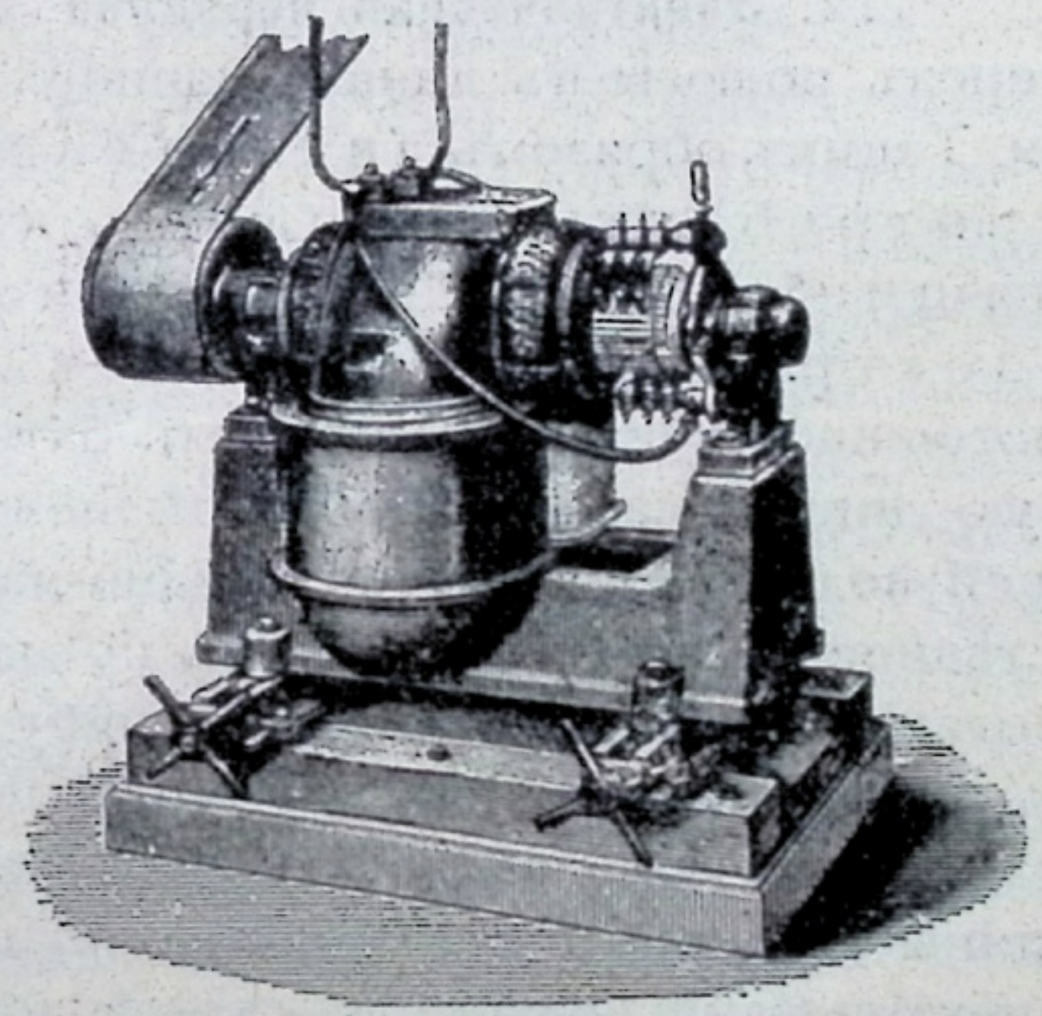
*) Въ каждомъ отдѣльномъ оборотѣ получается особая электродвижущая сила. Всѣ электродвижущія силы слѣдующихъ другъ за другомъ оборотовъ слагаются подобно тому, какъ слагаются электродвижущія силы послѣдовательно соединенныхъ элементовъ (§ 92). Въ результатѣ получаемъ большую разность потенціаловъ между концами обмотки.

лическими цилиндриками C (рукоятки), и возьмемъ въ руки цилиндры, то наведенныя токи вызовутъ сильныя сотрясенія въ рукахъ и груди. Передвигая наружную катушку, можемъ усилить или ослабить дѣйствіе прибора. Наиболѣе сильное дѣйствіе получимъ въ томъ случаѣ, если катушка f совершенно надвинута на катушку S, такъ что послѣдняя вся находится внутри катушки f.

Сравните прерыватель (молоточекъ) прибора на фиг. 172. съ молоточкомъ электрическаго звонка на фиг. 164.

Если предетавимъ себѣ нашъ приборъ (фиг. 172) изготовленнымъ въ значительно большихъ размѣрахъ (катушка f въ большихъ приборахъ такого типа достигаетъ длины въ 1 м и больше и имѣетъ много тысячъ оборотовъ!), то получится приборъ, дѣйствія котораго на человѣческое тѣло крайне опасны. Соединивъ концы катушки f съ двумя изолированными шариками или штифтами, получимъ сильныя искры (въ большихъ приборахъ длиною до 1 м и болѣе), перескакивающія съ сильнымъ трескомъ. Приборъ называется тогда индукціонной катушкой Румкорфа и примѣняется очень часто для полученія разрядовъ въ гейслеровскихъ трубкахъ и т. п.

111. **Динамо-электрическія машины.** Представимъ себѣ, что при помощи какого-нибудь механическаго приспособленія будемъ непрерывно и быстро то сближать, то удалять другъ отъ друга магнитъ и катушку на фиг. 171, тогда въ катушкѣ будутъ непрестанно возникать индукціонные токи, все время мѣняющіе свое направленіе (**перемѣнные токи**). При помощи особаго механическаго приспособленія (коммутатора) можно дѣлать направленіе этихъ токовъ во внѣшней цѣпи одинаковымъ (**постоянный токъ**). На этомъ основано устройство **динамо-электрическихъ машинъ** (динамо-машинъ), которыя приводятся въ движеніе силой пара или воды и даютъ сильные индукціонные токи. Они могутъ дать постоянный или перемѣнный токъ и служатъ для всѣхъ тѣхъ цѣлей, для которыхъ раньше брали очень сильныя батареи, напр. для полученія электрическаго свѣта, для приведенія въ дѣйствіе электрическихъ моторовъ и т. п.



Фиг. 173.

На фиг. 173 изображена динамо-машина одного изъ существующихъ теперь типовъ. Передаточный ремень паровой машины приводитъ въ быстрое вращеніе часть машины, имѣющую видъ барабана и соста-

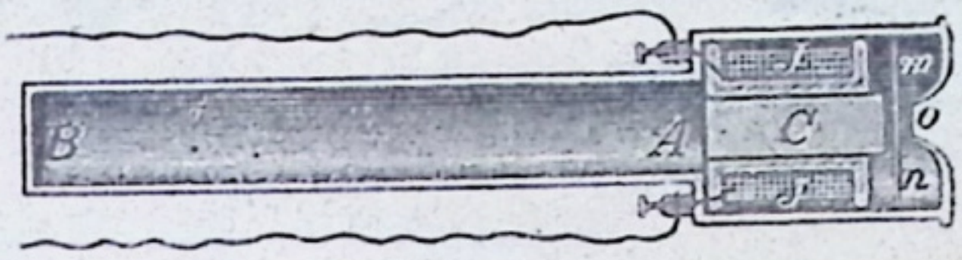
вленную изъ ряда индукціонныхъ катушекъ. Этотъ «барабанъ» (я к о р ь) вращается между желѣзными полюсами большого электромагнита, т. е. въ очень сильномъ магнитномъ полѣ. Возникающіе индукціонные токи, направленные благодаря особой системѣ обмотки барабана, которой не станемъ разбирать подробнѣе, въ одну сторону, отводятся съ концовъ барабана при помощи такъ называемыхъ щетокъ и толстыхъ проводовъ (к а б е л е й) къ мѣсту пользованія. Очень интересно то обстоятельство, что машина сама возбуждаетъ магнитное поле. Это происходитъ такъ: если въ сердечникѣ магнита имѣется хоть немного остаточнаго магнитизма, для чего достаточно одинъ разъ пропустить сильный токъ черезъ обмотку, то при вращеніи машины въ барабанѣ возникнутъ слабые индукціонные токи. Раньше, чѣмъ оставить машину, они проходятъ черезъ обмотку электромагнита въ соотвѣтственномъ направленіи, такъ что усиливаютъ его магнитизмъ, отъ этого получаются болѣе сильные индукціонные токи, они снова усиливаютъ электромагнитъ и т. д. Такимъ образомъ, при пускѣ машины въ ходъ магнитизмъ электромагнита наростаетъ до тѣхъ поръ, пока не наступитъ насыщеніе. Съ этого момента машина даетъ совершенно постоянный токъ, который можно регулировать въ извѣстныхъ предѣлахъ, увеличивая или уменьшая ч и с л о о б о р о т о в ъ барабана. Такое устройство машины называютъ **динамо-электрическимъ принципомъ**. Онъ былъ изобрѣтенъ электротехникомъ С и м е н с о м ъ въ 1866 г.

112. **Электрическая передача силы.** Если пропустимъ токъ черезъ полюсы въ динамо-машину, то барабанъ начнетъ вращаться. Такимъ образомъ д и н а м о-м а ш и н а о б р а т и м а и м о ж е т ъ у п о т р е б л я т ь с я т а к ж е в ъ к а ч е с т в ѣ **электромотора**, т. е. м а ш и н ы, д а ю щ е й в о з м о ж н о с т ь п о л у ч а т ь н а с ч е т ъ э л е к т р и ч е с к а г о т о к а м е х а н и ч е с к у ю р а б о т у. Какъ источникъ тока можемъ взять батареи, аккумуляторы или же другую динамо-машину. Въ послѣднемъ случаѣ сила пара или текущей воды превращается динамо-машиной въ электричество. Послѣднее мы можемъ передать по надземнымъ или подземнымъ (кабелямъ) проводамъ въ какое нибудь отдаленное мѣсто, и тамъ можемъ привести имъ въ движеніе электрическій моторъ. Послѣдній въ свою очередь можетъ заставить работать другія машины (токарный станокъ и т. п.) или же привести въ движеніе электрическій вагонъ желѣзной дороги; иначе говоря, онъ можетъ с н о в а произвести р а б о т у. Такое превращеніе механической силы въ электричество, передаваемое на большое разстояніе, и обратное превращеніе электричества въ механическую работу называютъ **электрической передачей силы.**

Примѣромъ электрической передачи силы могутъ служить э л е к т р и ч е с к і я г о р о д с к і я ж е л ѣ з н ы я д о р о г и. На ихъ центральныхъ станціяхъ установлены паровыя машины, приводящія въ движеніе сильныя д и н а м о-м а-

шины, которыя и даютъ нужный токъ. Онъ идетъ по надземнымъ или подземнымъ проводамъ къ электрическимъ моторамъ, установленнымъ между колесами вагоновъ, приводитъ въ движеніе моторы, послѣдніе вращаютъ колеса, благодаря чему и движется вагонъ; черезъ рельсы токъ возвращается къ машинѣ.

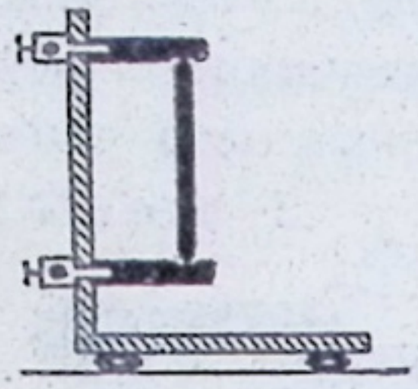
113. **Телефонъ и микрофонъ.** Явленія возбужденія индукціонныхъ токовъ магнитомъ нашли очень важное примѣненіе въ видѣ **телефона.** Принципъ устройства телефона былъ открытъ нѣмецкимъ профессоромъ Филиппомъ Рейсомъ, но практически удобную форму ему придалъ Беллъ. Онъ состоитъ изъ стальнаго магнита *AB* (фиг. 174), къ которому присоединенъ у *A* желѣзный сердечникъ *C*, окруженный катушкой *J*, концы которой соединены съ концами второго телефона на другой станціи. Всѣ эти части заключены въ деревянную оправу, у которой спереди имѣется отверстіе *o*. Между этимъ отверстіемъ и желѣзнымъ сердечникомъ находится тонкая, круглая желѣзная пластинка *mn*, зажатая между частями оправы. Желѣзная пластинка намагничивается чрезъ вліяніе желѣзнымъ сердечникомъ. Если на одной станціи будемъ говорить въ отверстіе телефона, то желѣзная пластинка будетъ колебаться, приближаясь къ сердечнику и удаляясь отъ него, благодаря чему ея намагничиваніе будетъ то сильнѣе, то слабѣе, а это въ свою очередь вызоветъ возникновеніе индукціонныхъ токовъ въ катушкѣ *J*. Колебанія желѣзной пластинки точно соотвѣтствуютъ звуковымъ колебаніямъ произносимыхъ словъ; поэтому и индукціонные токи возникаютъ въ соотвѣтствіи съ звуковыми колебаніями. Индукціонные токи по проводамъ передаются второму телефону и тамъ заставляютъ желѣзную пластинку колебаться такъ же, какъ колеблется пластинка перваго телефона; такимъ образомъ звукъ точно передается на большое разстояніе.



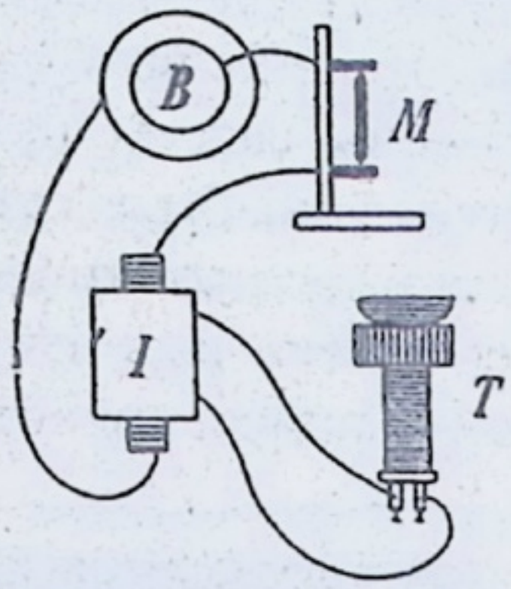
Фиг. 174.

Телефонъ примѣняется не только для переговоровъ въ томъ же зданіи или же въ одномъ городѣ, но и для разговоровъ на значительномъ большемъ разстояніи (Петербургъ-Москва). Для этой цѣли нужно, однако, примѣнить еще другой приборъ, изобрѣтенный Юзомъ,— **микрофонъ.** Простѣйшая его форма представлена на фиг. 175. Двѣ взаимно перпендикулярныя еловыя дощечки; подъ горизонтальную дощечку подклеены два куска резиновой трубки. Къ вертикальной дощечкѣ прикрѣплены два угольныхъ бруска съ зажимами для проводовъ; между брусками вставленъ заостренный съ обоихъ концовъ угольный стержень такъ, что онъ можетъ слегка шататься. Составляемъ цѣпь изъ нѣсколькихъ элементовъ Лекланше (фиг. 176) *B*,

индуктирующей катушки небольшого индукціоннаго прибора *I* (ср. фиг. 172) и микрофона *M*. Чтобы прерыватель индукціонной катушки не дѣйствовалъ, мы прижимаемъ молоточекъ винтомъ *c* къ сердечнику катушки. Концы вторичной катушки соединены проводами (телефонной линіей) съ телефономъ *T*. Если положимъ тикающіе карманные часы на горизонтальную дощечку микрофона или будемъ проводить по ней кистью, то звуки эти услышимъ въ телефонъ отчетливо и очень громко, т. е. какъ бы усиленными; (отсюда и названіе — микрофонъ; онъ дѣлаетъ слышными очень слабые звуки подобно тому, какъ микроскопъ дѣлаетъ видимыми очень малые предметы).



Фиг. 175.

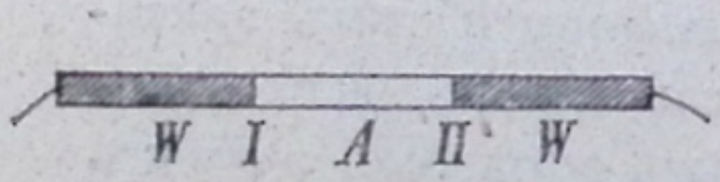


Фиг. 176.

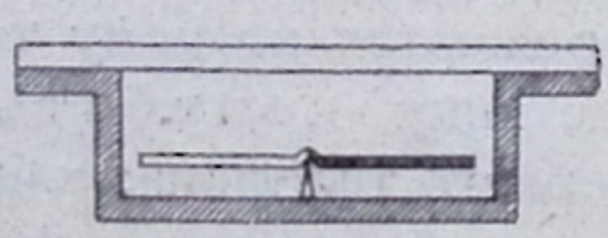
Дѣйствіе микрофона объясняется очень просто. При каждомъ сотрясеніи дощечки мѣняются точки соприкосновенія между угольнымъ стерженькомъ и брусками. Вмѣстѣ съ тѣмъ тутъ измѣняется и электрическое сопротивленіе, а потому и сила тока въ наводящей катушкѣ *J*. Каждое измѣненіе силы тока вызываетъ (согласно § 109) появленіе индукціонныхъ токовъ въ наружной катушкѣ, которые затѣмъ приводятъ въ движеніе пластинку телефона и возбуждаютъ такимъ образомъ звуковыя колебанія. При употребленіи хорошихъ чувствительныхъ микрофоновъ произносимыя въ нихъ слова слышны въ телефонѣ значительно громче, чѣмъ безъ микрофона.

Не представляетъ ли собой телефонъ также приборъ для «электрической передачи силы» и въ какомъ отношеніи?

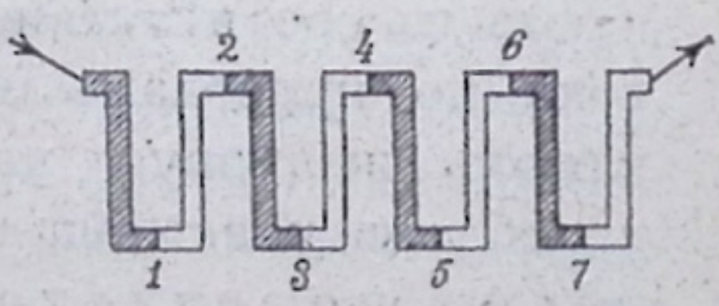
114. **Термоэлектричество.** Образуемъ цѣпь изъ стержня, состоящаго изъ двухъ кусковъ висмута *W* (фиг. 177), къ которымъ



Фиг. 177.



Фиг. 178.



Фиг. 179.

посрединѣ припаянъ кусокъ сурьмы *A*, и чувствительнаго гальванометра. Если повысимъ температуру спая *I* по сравненію съ темпер. спая *II* — нагрѣвая *I* или охлаждая *II* — то гальваноскопъ обнаружитъ присутствіе тока, идущаго въ нагрѣтомъ спаѣ отъ висмута къ сурьмѣ и называемаго **термоэлектрическимъ токомъ**. Если повысимъ температуру спая *II* по сравненію со спаемъ *I*, то получимъ токъ обратный прежнему; теперь въ спаѣ *II* токъ идетъ отъ висмута къ сурьмѣ.

Обыкновенно для того, чтобы показать явленіе термоэлектрическихъ токовъ, употребляютъ приборъ, изображенный на фиг. 178: внутри рамки, сдѣланной изъ спаянныхъ пластинокъ висмута и сурьмы, находится магнитная стрѣлка, по отклоненію которой мы узнаемъ, что при нагрѣваніи одного изъ спаевъ токъ въ этомъ спаѣ идетъ отъ висмута къ сурьмѣ. Тѣ-же явленія можно получить и съ другими металлами, но возникающія электродвигающія силы меньше, чѣмъ у висмута съ сурьмой. Если поперемѣнно спаяемъ висмутовыя и сурьмяныя пластинки (фиг. 179), то получимъ термо-батарею. Изображенная схематически на фиг. 179 батарея состоитъ изъ 4-хъ термо-элементовъ. Нагрѣвая нечетные и охлаждая четные спаи, получимъ термо-электрическій токъ, электродвижущая сила котораго тѣмъ больше, чѣмъ большее число элементовъ соединено послѣдовательно и чѣмъ больше разность температуръ обѣихъ группъ спаевъ.

IX. О движеніи и силахъ.

115. **Повтореніе основныхъ понятій.** *а*) Уже раньше (§ 5) было указано, что тѣло находится въ состояніи покоя, если оно остается на одномъ и томъ же мѣстѣ и не измѣняетъ своего положенія; всякое измѣненіе мѣста или положенія называется **движеніемъ**. Въ послѣднемъ случаѣ совокупность отдѣльныхъ положеній называется его **путемъ**, пройденнымъ пространствомъ. Если тѣло въ продолженіе всего своего движенія сохраняетъ одно и то же **направленіе движенія**, то по свойству проходимаго тѣломъ пути, мы называемъ такое движеніе **прямолинейнымъ**. Напротивъ, если направленіе движенія непрерывно измѣняется, то получается **криволинейное движеніе**.

При прямолинейныхъ движеніяхъ направленіе движенія въ каждый моментъ совершенно совпадаетъ съ путемъ, точно также прямолинейнымъ; при криволинейныхъ же движеніяхъ подъ направленіемъ движенія въ опредѣленной точкѣ пути понимаютъ то прямолинейное направленіе, въ которомъ должно было бы продолжать свое движеніе движущееся тѣло вслѣдствіе Галилеева закона инерціи (§ 6); слѣдовательно, направленіе движенія въ данной точкѣ выражается прямой линіей, касательной въ этой точкѣ къ кривой пути.

б) Если движущееся тѣло въ равные (произвольно малые) промежутки времени проходитъ равной длины пути (пространства), то тѣло движется **равномѣрно**. Въ этомъ случаѣ пространство, пройденное тѣломъ въ секунду называется **скоростью**.

Какая зависимость существуетъ при равномѣрномъ движеніи между тремя величинами: пройденнымъ разстояніемъ (s), временемъ (t) и скоростью (c)?

в) Если тѣло въ извѣстный моментъ обладаетъ опредѣленной скоростью, то оно сохраняетъ ее безъ всякихъ измѣненій (какъ по величинѣ, такъ и по направленію) до тѣхъ поръ, пока этому не воспрепятствуетъ дѣйствующая извнѣ причина (**сила**). Поэтому, если тѣло имѣетъ скорость, равную „нулю“, или, иначе говоря, находится въ состояніи покоя, то оно сохраняетъ такую величину скорости, т. е. остается въ состояніи покоя. Въ этомъ и состоитъ **Галилеевъ законъ инерціи** (§ 6). Согласно этому закону, тѣло, получившее при посредствѣ однократнаго удара нѣкоторую скорость, должно бы, слѣдовательно, продолжать двигаться съ тою же скоростью прямолинейно и равномѣрно, пока внѣшнія силы не вызовутъ измѣненія въ этомъ движеніи.

Скользящее или катящееся по льду тѣло мало-по-малу теряетъ свою скорость, какъ вслѣдствіе тренія о поверхность льда, такъ и благодаря сопротивленію воздуха, короче говоря, вслѣдствіе препятствій движенію. Брошенный наклонно вверхъ камень отклоняется силой тяжести отъ прямолинейнаго пути, по которому онъ долженъ былъ бы двигаться согласно закону инерціи, такъ что въ дѣйствительности онъ описываетъ криволинейный путь. Эти и всѣ подобныя отклоненія отъ закона инерціи вызываются точно также внѣшними воздѣйствіями. Такъ какъ устранить послѣднія, особенно «препятствія движенію» (§ 129), трудно, то врядъ ли возможно искусственно произвести равномѣрное движеніе. Здѣсь слѣдуетъ только указать, что движеніе земли около оси, съ тѣхъ поръ какъ люди стали его замѣчать, всегда имѣетъ одну и ту же продолжительность, а значитъ, можетъ считаться равномѣрнымъ движеніемъ.

116. **Виды движенія.** Если мы сосчитаемъ, сколько ударовъ въ секунду дѣлаетъ поршень паровоза поѣзда, идущаго полнымъ ходомъ отъ одной станціи къ другой, и опредѣлимъ это число ударовъ для второй, третьей секунды, то мы увидимъ, что это число будетъ совершенно такое же, какъ для первой, такъ и для прочихъ секундъ; слѣдовательно, поѣздъ сохраняетъ безъ измѣненія нѣкоторую скорость движенія: онъ движется равномѣрно. Такой равномѣрности движенія мы не наблюдаемъ, когда поѣздъ отходитъ отъ станціи или подходитъ къ ней. Въ первомъ случаѣ поѣздъ на станціи имѣетъ скорость, равную „нулю“: онъ находится въ состояніи покоя. Когда затѣмъ паровозъ начинаетъ работать, то поѣздъ приходитъ въ движеніе и идетъ сначала совсѣмъ медленно. Въ первыя мгновенія мы можемъ даже идти рядомъ съ поѣздомъ; но вскорѣ движеніе его дѣлается на-

столько быстрымъ, что намъ приходится бѣжать все быстрѣе и быстрѣе, чтобы не отстать отъ него; наконецъ, движеніе поѣзда становится настолько быстрымъ, что мы оказываемся совершенно не въ силахъ поспѣть за нимъ. Если какое-либо тѣло (подобно поѣзду при отходѣ отъ станціи) въ равные промежутки времени проходитъ все большія разстоянія, если, слѣдовательно, его скорость возрастаетъ, то это тѣло совершаетъ **ускоренное движеніе**. Напротивъ, при приближеніи къ станціи поѣздъ замедляетъ свой ходъ, пока наконецъ не остановится. Если какое-либо тѣло (подобно поѣзду при въѣздѣ на станцію) въ равные промежутки времени проходитъ все меньшія и меньшія разстоянія, если, слѣдовательно, его скорость уменьшается, то это тѣло совершаетъ **замедленное движеніе**. Въ обоихъ случаяхъ скорость не остается безъ измѣненія, но измѣняется съ теченіемъ времени все больше, а потому здѣсь мы имѣемъ дѣло съ движеніями, которыя (въ противоположность равномѣрному движенію) называются перемѣнными, неравномѣрными.

Что означаютъ выраженія «ускорить свое движеніе», «замедлить свои шаги»?.

Такъ какъ при перемѣнныхъ движеніяхъ скорость непрерывно измѣняется, то при такихъ движеніяхъ мы можемъ говорить уже лишь о **скорости въ опредѣленный моментъ**; эта скорость принимается равной тому пространству, которое было бы пройдено тѣломъ въ слѣдующую за разсматриваемымъ моментомъ секунду, если-бы начиная съ этого момента движеніе совершалось только вслѣдствіе инерціи, т. е. стало бы равномѣрнымъ.

Если бы въ разсмотрѣнныхъ выше случаяхъ перемѣннаго движенія поѣзда машинистъ въ опредѣленный моментъ прекратилъ притокъ пара въ цилиндры, то вслѣдствіе инерціи поѣздъ продолжалъ бы двигаться равномѣрно со скоростью, которую имѣлъ поѣздъ въ этотъ моментъ. Чему въ этомъ случаѣ надо считать равной скорость движенія?

Какъ при ускоренномъ, такъ и при замедленномъ движеніяхъ мы можемъ различать два случая. Такъ напр., если скорость отходящаго отъ станціи поѣзда въ равные послѣдовательные промежутки времени увеличивается на одну и ту же величину, если, слѣдовательно, скорость возрастаетъ рав-

номѣрно или однообразно, то движеніе называется **равномѣрно ускореннымъ**; величина, на которую увеличивается при этомъ скорость въ единицу времени (въ одну секунду) называется **ускореніемъ**. Напротивъ, при неравномѣрномъ возрастаніи скорости мы говоримъ о **неравномѣрно ускоренномъ** движеніи. Точно также движеніе слѣдуетъ называть **равномѣрно замедленнымъ**, если скорость въ равные промежутки времени уменьшается на одну и ту же величину, т. е. равномѣрно. Величина, на которую въ единицу времени (въ 1 секунду) уменьшается скорость, называется **замедленіемъ**. Напротивъ, если мы замѣчаемъ неравномѣрное уменьшеніе скорости, то передъ нами **неравномѣрно замедленное** движеніе.

Слѣдующая таблица даетъ намъ сопоставленіе всѣхъ возможныхъ случаевъ.

Главныя формы движеній:

равномѣрное (скорость не измѣняется)		перемѣнное (скорость измѣняется)	
ускоренное (скорость увеличивается)		замедленное (скорость уменьшается)	
равномѣрно ускоренное (скорость возрастаетъ равномѣрно)	неравномѣрно ускоренное (скорость возрастаетъ неравномѣрно)	равномѣрно замедленное (скорость уменьшается равномѣрно)	неравномѣрно замедленное (скорость уменьшается неравномѣрно)

Равномѣрное движеніе разсмотрѣно уже нами въ § 5. — Теперь мы познакомимся съ примѣрами различныхъ видовъ перемѣннаго движенія.

117. **Равномѣрно ускоренное движеніе и свободное паденіе.** *а*) Какъ показываютъ самыя простыя наблюденія, движеніе тѣла, безпрепятственно падающаго по вертикальному направленію на землю или, какъ обыкновенно говорятъ, **свободно падающаго тѣла** представляетъ собой ускоренное движеніе.

Чѣмъ съ большей высоты падаетъ тѣло, тѣмъ труднѣе слѣдить глазами за его паденіемъ, тѣмъ сильнѣе ударяетъ оно насъ по рукѣ, если мы станемъ ловить его, и тѣмъ сильнѣе звукъ при ударѣ тѣла о твердую поверхность.

б) Уже въ 1638 году Галилей высказалъ предположеніе, что свободно падающее тѣло совершаетъ равномѣрно ускоренное движеніе. При такомъ предположеніи, если скорость тѣла, падавшаго въ теченіе одной секунды, возрастаетъ отъ началь-

ной величины $v_0 = 0$ *) до конечной величины $v_1 = g$ **), то увеличеніе скорости за первую секунду составитъ g. Совершенно такое же увеличеніе скорости должно получиться и въ теченіе второй секунды (§ 116); точно также и въ каждую слѣдующую секунду скорость должна каждый разъ возрастать на величину g.

При этомъ свободно падающее тѣло должно пріобрѣтать:

по истеченіи	первой	секунды	конечную	скорость	$1 \times g$
„	„	двухъ	секундъ	„	$2 \times g$
„	„	трехъ	„	„	$3 \times g$
„	„	четырехъ	„	„	$4 \times g$
.	.	.	.	.	. .
.	.	.	.	.	. .
„	„	t	„	„	$t \times g$

Такимъ образомъ, при свободномъ паденіи, а также при всякомъ равномѣрно ускоренномъ движеніи съ начальной скоростью равной 0, для нахожденія конечной скорости нужно ускореніе умножить на число секундъ (**I-й законъ паденія**).

Этотъ законъ можно выразить такъ:

$$v_t = g.\ t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \text{ (Формула 1-я).}$$

Точные опыты показали, что при свободномъ паденіи увеличеніе скорости за каждую секунду составляетъ 10 м (точнѣе 9,8м). Слѣдовательно, **свободно падающее тѣло** совершаетъ **равномѣрно ускоренное движеніе** съ ускореніемъ равнымъ 10 м (точнѣе 9,8 м) въ секунду. Поэтому его конечная скорость (съ округленіемъ) равна:

по истеченіи	первой	секунды	$v_1 =$	10 м.
„	„	двухъ секундъ	$v_2 =$	20 м
„	„	трехъ „	$v_3 =$	30 м
„	„	четырехъ „	$v_4 =$	40 м
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
„	„	t „	$v_t =$	10 t метровъ.

b) Теперь попробуемъ опредѣлить, какое разстояніе проходитъ свободно падающее тѣло въ теченіе 1, 2, 3, 4 . . . t секундъ?

---

*) v есть начальная буква латинскаго слова velocitas — скорость, и въ то же время латинскаго слова variabilis — перемѣнный; этой буквой обозначается скорость перемѣннаго движенія въ противоположность скорости равномѣрнаго движенія, которая обозначается буквой c — начальной буквой латинкаго слова celeritas — скорость и въ то же время латинскаго слова constans—постоянный, равномѣрный.

**) g есть начальная буква латинскаго слова gravitas — тяжесть.

Чтобы облегчить себѣ опредѣленіе длины этого пути, разсмотримъ сначала въ видѣ примѣра слѣдующую ариѳметическую задачу. Нѣкто поступилъ на службу въ одно предпріятіе на десять лѣтъ, при чемъ за первый годъ онъ долженъ былъ получить 1000 рублей, за второй годъ 2000 руб., за третій 3000 руб., однимъ словомъ, за каждый послѣдующій годъ онъ долженъ былъ получать на 1000 руб. больше, чѣмъ за предыдущій. Если мы сложимъ всѣ суммы, которыя онъ получитъ за 10 лѣтъ службы, то получимъ 55.000 руб. Если не принимать во вниманіе проценты, то этотъ служащій получилъ бы за всѣ десять лѣтъ службы ту же самую сумму и тогда, если бы ему за каждый изъ десяти годовъ службы равномѣрно уплачивали вознагражденіе, равное среднему ариѳметическому изъ начальнаго и конечнаго размѣровъ его вознагражденія, т. е. $\frac{1000 + 10.000}{2} = 5.500$ руб. Въ самомъ дѣлѣ:— 5.500 руб. $\times$ 10 даютъ точно также сумму 55.000 руб. Тотъ же способъ исчисленія мы можемъ примѣнять всякій разъ, когда перемѣнная величина измѣняется равномѣрно. Но съ такого рода измѣненіемъ мы встрѣчаемся и при равномѣрно ускоренномъ движеніи; дѣйствительно, какъ мы уже видѣли, скорость при такомъ движеніи возрастаетъ равномѣрно.

Какое-либо тѣло, движущееся съ **начальной** скоростью равной 0 и затѣмъ равномѣрно возрастающей въ теченіе первой секунды до 10 м, въ секунду пройдетъ какъ разъ то же самое пространство, которое прошло бы въ теченіе одной секунды тѣло, равномѣрно двигающееся со скоростью 5 м, т. е. со скоростью, равной средней скорости перваго тѣла. Чтобы опредѣлить, какое пространство проходитъ свободно падающее тѣло въ теченіе первой и второй секунды, мы должны замѣтить, что начальная скорость такого тѣла равна 0 м, а конечная 20 м; такъ какъ скорость этого тѣла равномѣрно возрастала отъ 0 до 20 м, то оно пройдетъ то же самое пространство, какъ и тѣло, равномѣрно двигающееся въ теченіе двухъ секундъ со скоростью, равной средней скорости между 0 и 20 м, т. е. со скоростью, равной половинѣ скорости въ концѣ второй секунды, или со скоростью 10 м. Слѣдовательно, пройденный за первыя двѣ секунды путь равенъ $\frac{20}{2}$ м $\times 2 =$ 20 м, т. е. половинѣ скорости въ концѣ второй секунды, умноженной на число секундъ. Такимъ же образомъ можно опредѣлить пространство, проходимое въ теченіе 3, 4 и т. д. секундъ. Мы приходимъ, слѣдовательно, къ такому выводу:

При свободномъ паденіи, а равно и при всякомъ равномѣрно ускоренномъ движеніи для нахожденія длины пройденнаго пути нужно половину конечной скорости умножить на число секундъ, въ теченіе которыхъ совершалось движеніе.

Согласно этому закону, пространство, проходимое свободно падающимъ тѣломъ, равняется:

за первую секунду . . . . . $\frac{10}{2}$ м $\times 1 = 5$ м $\times 1$

„ первыя 2 секунды . . . . $\frac{20}{2}$ м $\times 2 = 10$ м $\times 2 = 5$ м $\times 4$

„ „ 3 „ . . . . . $\frac{30}{2}$ м $\times 3 = 15$ м $\times 3 = 5$ м $\times 9$

„ „ 4 „ . . . . . $\frac{40}{2}$ м $\times 4 = 20$ м $\times 4 = 5$ м $\times 16$

и т. д.

. . . . . .

за первыя t секундъ . . $s = \frac{v}{2} \times t = \frac{gt}{2} \times t = \frac{g}{2} t^2$. (формула 2-я).

Такимъ образомъ мы видимъ, что для нахожденія всего пройденнаго при свободномъ паденіи пространства можно также пространство, пройденное въ теченіе первой секунды (5 м), умножить на квадратъ времени (1, $4 = 2^2$, $9 = 3^2$, $16 = 4^2$ . . . t^2 и т. д.).

Пространство, пройденное за первыя 2 секунды состоитъ изъ пространствъ, пройденныхъ въ теченіе 1-ой и 2-ой секундъ; пространство пройденное за 3 первыя секунды — изъ пространствъ, пройденныхъ за 2 первыя секунды и за 3-ью секунду и т. д.; поэтому мы получаемъ такія величины для пространствъ, пройденныхъ:

въ теченіе 1-ой секунды . . . . . 5 м $\times 1$

„ „ одной 2-ой секунды . (5 м $\times$ 4) — (5 м $\times$ 1) = 5 м $\times 3$

„ „ „ 3-ьей „ . (5 м $\times$ 9) — (5 м $\times$ 4) = 5 м $\times 5$

„ „ „ 4-ой „ . (5 м $\times$ 16) — (5 м $\times$ 9) = 5 м $\times 7$

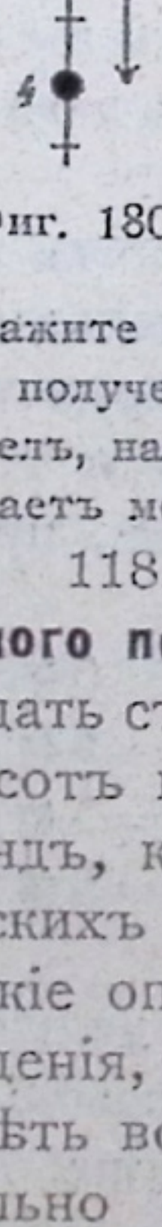
и т. д.

Такимъ образомъ, для равномѣрно ускореннаго движенія съ начальной скоростью, равной 0, а значитъ и для свободнаго паденія мы получаемъ еще два слѣдующихъ закона:

Пройденныя съ начала движенія пространства возрастаютъ, какъ квадраты временъ. (**2-ой законъ паденія**).

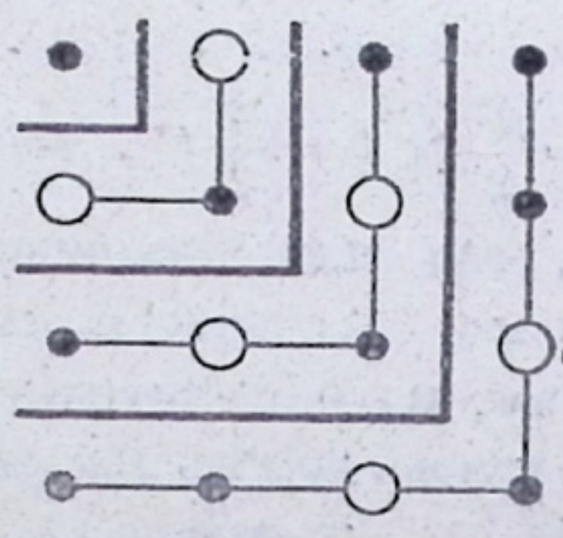
Пространства, пройденныя въ теченіе отдѣльныхъ слѣдующихъ одна за другой секундъ, возрастаютъ, какъ нечетныя числа (**3-ій законъ паденія**).

Мы видѣли, что пространство, проходимое при свободномъ паденіи, представляетъ собой произведеніе изъ пространства, пройденнаго за 1-ую секунду, на квадратъ времени. Поэтому, если мы знаемъ пройденное пространство и хотимъ опредѣлить время (въ секундахъ), въ теченіе котораго это пространство пройдено, то мы должны раздѣлить данное пространство на пространство, пройденное въ теченіе 1-ой секунды и изъ полученнаго частнаго извлечь квадратный корень.



Фиг. 180.

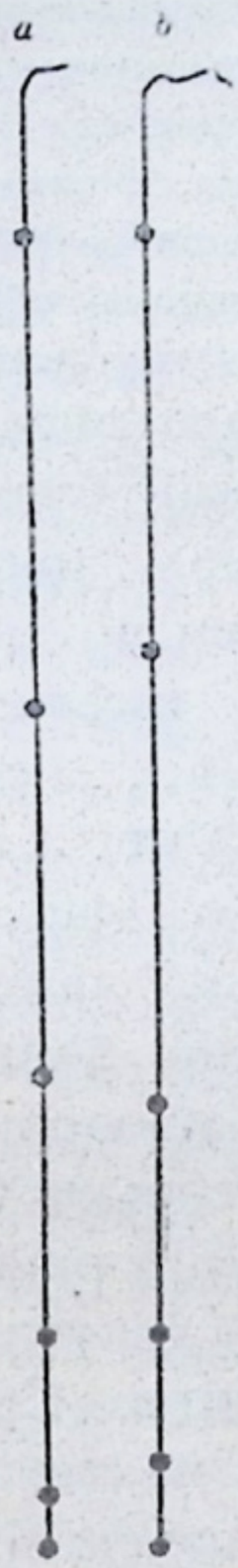
На сколько увеличиваются пространства, проходимыя въ отдѣльныя слѣдующія одна за другой секунды? Фиг. 180 указываетъ намъ въ уменьшенномъ масштабѣ точки, въ которыхъ находится свободно падающій шарикъ по истеченіи одной, двухъ, трехъ, четырехъ .. секундъ. Чему въ дѣйствительности равна длина разстоянія 01? Чему равны длины прочихъ пройденныхъ разстояній? Замѣтьте слѣдующее: 1) **Приращеніе длинъ путей, пройденныхъ при равномѣрно ускоренномъ движеніи въ каждую послѣдующую секунду, равно по величинѣ ускоренію.** 2) **Пространство, проходимое свободно падающимъ тѣломъ въ теченіе первой секунды** равно половинѣ ускоренія. Съ помощью фиг. 181 объясните, почему отъ сложенія двухъ первыхъ нечетныхъ чиселъ, а именно 1 и 3, получается квадратъ 2, отъ сложенія трехъ первыхъ нечетныхъ чиселъ (1, 3, 5)—квадратъ 3 и т. д., и покажите какимъ образомъ. Это ариѳметическое правило, согласно которому для полученія квадрата какого-либо числа надо взять сумму столькихъ нечетныхъ чиселъ, начиная отъ единицы, сколько единицъ содержитъ данное число, связываетъ между собой 2-й и 3-й законы свободнаго паденія тѣлъ!



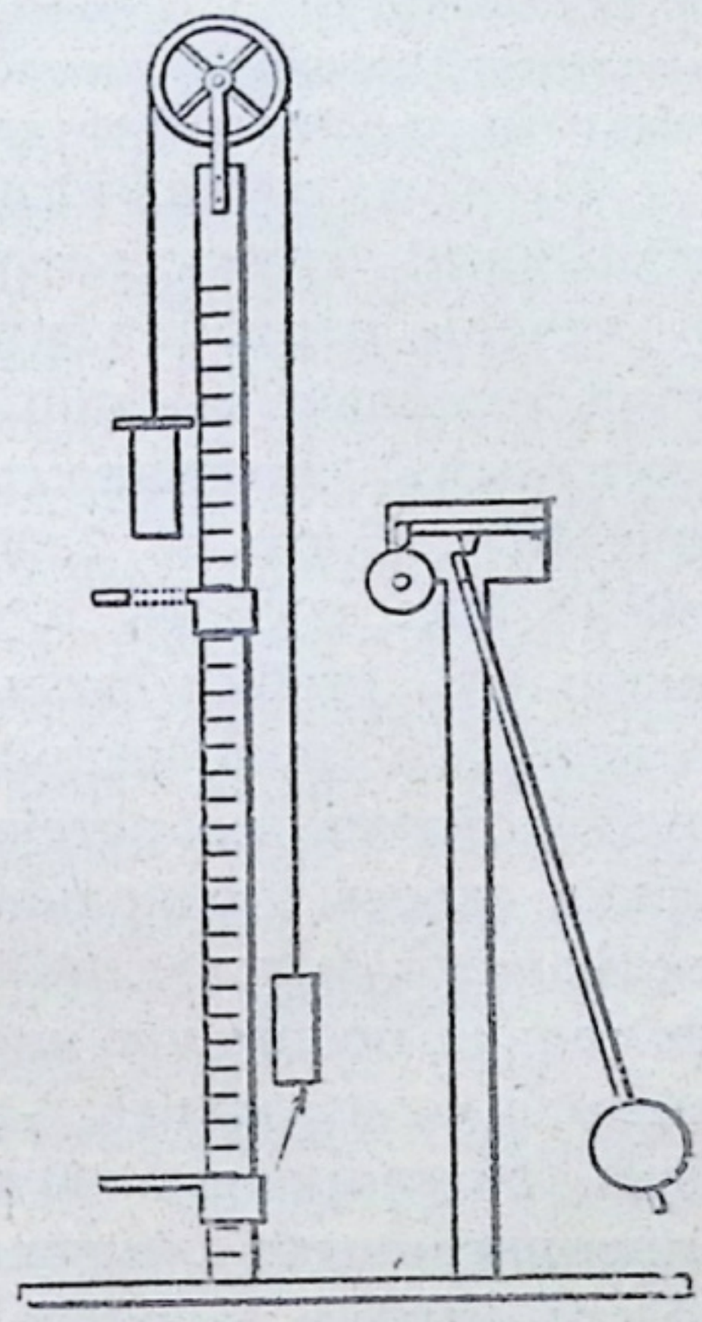
Фиг. 181.

118. **Подтвержденіе законовъ паденія при помощи опыта.** *а*) Для **такого подтвержденія** можно, во-первыхъ, давать камнямъ свободно падать съ высоты 5 **м**, 20 **м**, 45 **м**, 80 **м** .... Для паденія съ такихъ высотъ на землю потребуется соотвѣтственно 1, 2, 3, 4 .... секундъ, какъ этого и надо было ожидать на основаніи теоретическихъ вычисленій, сдѣланныхъ нами въ предыдущемъ пунктѣ. Такіе опыты имѣютъ однако то неудобство, что для наблюденій паденія, происходящаго въ теченіе нѣсколькихъ секундъ нужно имѣть возможность производить свободное паденіе тѣлъ съ довольно большихъ высотъ. Поэтому приходится при опытахъ брать меньшія промежутки времени (части секунды), что однако въ свою очередь затрудняетъ наблюденіе. Вотъ еще одинъ изъ способовъ опытной провѣрки. На шнурѣ укрѣпимъ свинцовые

шарики на разстояніяхъ другъ отъ друга 1:3:5:7...; если затѣмъ мы будемъ держать этотъ шнуръ за тотъ конецъ, по направленію къ которому разстоянія между шариками увеличиваются (фиг. 182 *a*), такъ чтобы первый шарикъ находился какъ разъ надъ поломъ, и выпустимъ изъ рукъ верхній конецъ шнура, то шарики будутъ ударяться объ полъ съ одинаковымъ ритмомъ, т. е. стукъ будетъ повторяться черезъ одинаковые промежутки времени; если нѣсколько измѣнить прежнее расположеніе шариковъ на шнурѣ (фиг. 182 *b*), то однообразнаго ритма не получится.



Фиг. 182.



Фиг. 183.

б) Болѣе точные результаты получаются изъ опытовъ, при которыхъ движеніе свободно падающаго тѣла въ извѣстной мѣрѣ замедляется при помощи соотвѣтствующихъ приспособленій. Такіе опыты позволяютъ намъ наблюдать явленіе свободнаго паденія такъ, какъ если бы мы видѣли его, находясь отъ него на большомъ разстояніи*).

Остроумнымъ способомъ это замедленіе достигается при помощи атвудовой машины (фиг. 183). На вертикальной стойкѣ съ нанесенными на ней равными дѣленіями находится очень легкое и легко подвижное небольшое колесо, на окружности котораго имѣется желобокъ. Черезъ это колесо, служащее блокомъ, перекинута тонкая нить, къ концамъ которой прикрѣплены равные грузы, похожіе на гирьки часовъ. Обѣ эти гирьки стремятся съ одинаковой силой повернуть колесо каждая въ свою сторону, такъ что послѣднее остается въ состояніи покоя. Если же на одну изъ гирекъ положить небольшой добавочный грузъ (продолговатую металлическую пластинку), то эта гирька начинаетъ

*) Курьерскій поѣздъ кажется намъ медленно ползущимъ, когда мы наблюдаемъ его движеніе съ достаточно большого разстоянія.

опускаться внизъ, при чемъ ея движеніе будетъ тѣмъ медленнѣе по сравненію со свободнымъ паденіемъ, чѣмъ меньше вѣсъ добавочнаго груза по сравненію съ вѣсами обѣихъ гирекъ.

Пока для объясненія этого ограничимся слѣдующимъ простымъ сравненіемъ. Носильщикъ безъ всякой ноши можетъ бѣжать гораздо быстрѣе, чѣмъ если онъ несетъ очень тяжелый предметъ; дѣйствительно, въ первомъ случаѣ сила его мышцъ затрачивается на приведеніе въ движеніе только его собственнаго тѣла, во второмъ же, кромѣ того, и тяжелаго предмета. Подобно этому маленькій добавочный грузъ, который при свободномъ паденіи двигался бы только одинъ, въ атвудовой машинѣ долженъ двигать обѣ тяжелыя гирьки и кромѣ того еще вращать блокъ. Этимъ и объясняется замедленіе паденія этого добавочнаго груза.

Пробуя грузы разнаго вѣса, мы можемъ подобрать такой добавочный грузъ, который будетъ вызывать опусканіе гирьки въ теченіе первой секунды, напр. на 5 **центм.** Секунды при этомъ отмѣчаются ударами по звонку, производимыми особымъ секуднымъ маятникомъ, имѣющимся при атвудовой машинѣ (фиг. 183). Тогда за 2, 3, 4 . . . секунды будутъ пройдены гирькой 4×5 **цт**, 9×5 **цт**, 16×5 **цт** . . . Если передвигающееся по вертикальной стойкѣ кольцо (фиг. 183) укрѣпить въ томъ мѣстѣ, до котораго приводящій въ движеніе обѣ гирьки добавочный грузъ дойдетъ по истеченіи 2-ой секунды, то при прохожденіи гирьки сквозь это кольцо продолговатая пластинка останется на послѣднемъ, и тогда обѣ гирьки будутъ продолжать свое движеніе только по закону инерціи равномѣрно со скорстью, пріобрѣтенной ими въ концѣ 2-ой секунды, а значитъ, въ нашемъ примѣрѣ со скоростью 20 **центм.** (Ср. § 117)! При помощи обоихъ вышеописанныхъ опытовъ можно весьма точно доказать правильность «трехъ законовъ паденія».

Задачи. 1. Чему равны: 1) конечная скорость, 2) все пройденное пространство, 3) пространство, пройденное въ теченіе четвертой секунды и 4) пространство, пройденное въ теченіе восьмой секунды при свободномъ паденіи тѣла въ теченіе восьми секундъ? *) **2.** Чему равно при свободномъ паденіи пространство, пройденное въ теченіе 3, 5, 8, 14, 20, 28, 31, 42 секундъ? Чему равна въ каждомъ изъ этихъ случаевъ пріобрѣтенная тѣломъ конечная скорость? Сравните первыя величины съ извѣстными высотами зданій и горъ, а послѣднія съ величинами, приведенными въ таблицѣ на стр. 5! **3.** Тѣло, свободно падающее съ нѣкоторой высоты, при достиженіи поверхности земли имѣетъ скорость 120 **м** въ секунду. Сколько времени и съ какой высоты оно падало? **4.** Сколькимъ секундамъ равно время паденія свободно падающаго тѣла, конечная скорость котораго достигла 1000 **м** въ секунду? Какое пространство прошло оно за время паденія? **5.** Съ какой конечной скоростью должна бы достигать до поверхности земли дождевая капля, падающая изъ облака съ высоты 500 **м** (800 **м**), если бы

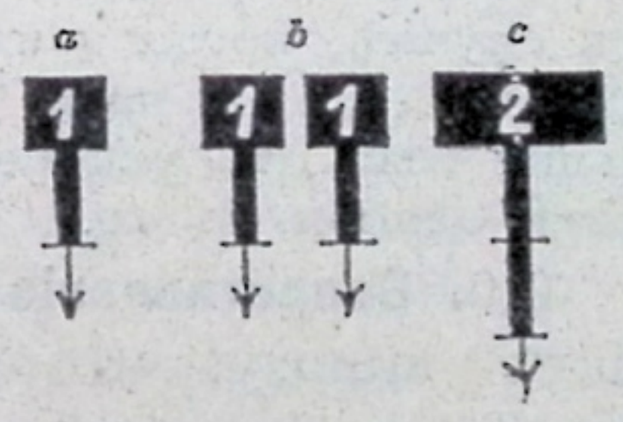
---

*) Во всѣхъ задачахъ—если нѣтъ особаго указанія—ускореніе силы тяжести (g) слѣдуетъ принимать равнымъ 10 **м** (съ округленіемъ) въ сек.

воздухъ не оказывалъ сопротивленія ея движенію? **6.** При началѣ движенія паровозъ развиваетъ ускореніе въ 20 **цт** въ секунду; черезъ сколько секундъ онъ пріобрѣтетъ скорость въ 12 **м** въ секунду? **7.** Длина канала орудія равна 2 **мт**; снарядъ при выходѣ изъ канала имѣетъ скорость въ 700 **м** въ секунду. Чему равно произведенное пороховыми газами ускореніе? Разбѣгъ курьерскаго поѣзда совершается на пространствѣ 200 **м** въ теченіе 25 секундъ. Чему равна достигаемая при этомъ конечная скорость? **8.** Сколько времени будетъ длиться паденіе камня съ верхушки Эйфелевой башни въ Парижѣ и чему будетъ равна конечная скорость этого паденія? (Высота башни = 300 **м**).

119. **Сила, масса и ускореніе.** Движеніе свободно падающаго тѣла мы объясняемъ с и л о й п р и т я ж е н і я, производимаго землей на всѣ тѣла; эта сила называется **силой тяжести** (§ 9). Той же самой невидимой причиной объясняемъ мы и тотъ фактъ, что всѣ подпертыя или подвѣшанныя тѣла производятъ д а в л е н і е на подставку или же тянутъ внизъ предметъ, на которомъ они подвѣшаны. Это давленіе (или тяга), называемое а б с о л ю т н ы м ъ в ѣ с о м ъ тѣлъ, является слѣдствіемъ стремленія тѣлъ приблизиться къ землѣ, возникающаго подъ вліяніемъ силы тяжести, или короче: слѣдствіемъ стремленія тѣлъ падать. Но такъ какъ тѣло, вѣсящее 2 **кгр** давитъ на подставку вдвое сильнѣе, чѣмъ вѣсящее 1 **кгр**, то можно бы ожидать, что тѣло въ 2 **кгр** вѣсомъ будетъ падать скорѣе (быть можетъ, вдвое скорѣе), чѣмъ тѣло, вѣсящее 1 **кгр**. Однако опытъ показываетъ, что оба эти тѣла падаютъ съ одинаковой скоростью.

Объясняется это довольно просто. Желѣзный кубъ вѣсомъ въ 1 **кгр** (фиг. 184 *a*), притягиваемый къ землѣ силой въ 1 **кгр**, будетъ совершать равномѣрно ускоренное движеніе съ ускореніемъ $g = 10$ **м** (точнѣе = 9,8 **м**) въ секунду. Представимъ себѣ, что два желѣзныхъ куба (фиг. 184 *b*), изъ которыхъ каждый равенъ первому, падаютъ, находясь бокъ о бокъ другъ съ другомъ; въ этомъ случаѣ нѣтъ причины, почему бы одинъ изъ этихъ кубовъ падалъ быстрѣе или медленнѣе другого или же перваго куба (фиг. 184 *a*). Поэтому, если оба эти куба соединить другъ съ другомъ посредствомъ штифта или же еще прочнѣе, такъ чтобы они составили одно тѣло вѣсомъ въ 2 **кгр**, (фиг. 184 *c*), то точно также нѣтъ никакихъ основаній, почему бы могла при этомъ измѣниться скорость паденія. Конечно, тѣло, вѣсящее 2 килогр., испытываетъ со стороны силы тяжести вдвое большее притяженіе по направленію внизъ къ землѣ, однако это притяженіе должно привести въ движеніе вдвое большее к о л и ч е с т в о в е щ е с т в а, или вдвое большую **массу** (§ 10); слѣдовательно скорость паденія будетъ та же самая, какъ и у тѣла вѣсомъ въ 1 **кгр**.



Фиг. 184.

Такимъ образомъ, наше разсужденіе приводитъ насъ къ тому же результату, что и опытъ: **Всѣ тѣла падаютъ съ одинаковой скоростью.**

Однако, человѣчество долго заблуждалось въ этомъ вопросѣ, и въ древности, и въ средніе вѣка ошибочно полагало, что вдвое болѣе тяжелое тѣло должно и падать вдвое скорѣе; только Галилей открылъ и доказалъ при помощи опыта истинные законы паденія.

Опытъ повседневной жизни приводитъ насъ къ тому, что, не только при свободномъ паденіи, но и при другихъ равномѣрно ускоренныхъ движеніяхъ, ускореніе тѣмъ больше, чѣмъ больше движущая сила и наоборотъ, оно тѣмъ меньше, чѣмъ больше приводимое въ движеніе количество вещества или масса. Когда, напр., одинъ желѣзнодорожный рабочій, упираясь въ землю, начинаетъ толкать вагонъ, онъ можетъ заставить послѣдній двигаться по рельсамъ впередъ съ возрастающей скоростью, т. е. сообщить вагону нѣкоторое ускореніе. Если толкать вагонъ станутъ четверо рабочихъ, то вагонъ будетъ двигаться скорѣе, а именно пріобрѣтетъ вчетверо большее ускореніе. Такимъ образомъ, если на одну и ту же массу дѣйствуетъ въ 2, 3, 4... раза большая сила, то и ускореніе, сообщаемое послѣдней, будетъ въ 2, 3, 4... раза больше. — Напротивъ, тѣ же четверо рабочихъ могутъ двумъ вагонамъ (т. е. вдвое большей массѣ) сообщить только вдвое большее ускореніе, чѣмъ одинъ рабочій одному вагону; четыремъ же вагонамъ (т. е. вчетверо большей массѣ) четверо рабочихъ сообщатъ лишь такое же ускореніе, какое одинъ рабочій одному вагону. Итакъ, если массу, на которую дѣйствуетъ одна и та же сила, мы станемъ увеличивать въ 2, 3, 4... раза, то ускореніе уменьшается до $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$... своей прежней величины. — То же самое будетъ и въ томъ случаѣ, когда движущей силой служитъ сила тяжести; такъ какъ въ 2, 3, 4... раза большая масса имѣетъ въ 2, 3, 4.. раза большій вѣсъ, то ускореніе, сообщаемое этимъ массамъ ихъ вѣсомъ, будетъ одно и то же.

120. **Сопротивленіе воздуха.** Изложенному въ предыдущемъ пунктѣ выводу, что всѣ тѣла падаютъ съ одинаковой быстротой, на первый взглядъ противорѣчитъ извѣстный всѣмъ изъ опыта фактъ, что легкое тѣло (напр. листъ бумаги, пушинка и т. п.) падаетъ медленнѣе тяжелаго (напр. монеты, куска свинца и т. д.). Если мы сожмемъ листъ бумаги въ возможно меньшаго размѣра шарикъ, отъ чего онъ не сдѣлается, очевидно, ни тяжелѣе, ни легче, и пустимъ падать этотъ бумажный шарикъ, то онъ будетъ падать быстрѣе, чѣмъ раньше падала та же бумага, имѣвшая форму листа. Объясняется это явленіе тѣмъ, что воздухъ оказываетъ движенію всѣхъ тѣлъ **нѣкоторое** сопротивленіе, про-

исходящее прежде всего отъ того, что движущееся тѣло должно вытѣснять находящіяся передъ нимъ частички воздуха. Мы явственно ощутимъ это **сопротивленіе воздуха**, когда совершенно или отчасти раскрытый вѣеръ станемъ двигать по направленію перпендикулярному къ его раскрытой поверхности; сопротивленіе воздуха будетъ ощущаться сильнѣе, если передвигаемая въ такомъ направленіи поверхность будетъ больше (совершенно раскрытый вѣеръ) и если движеніе это совершать быстро. (При слишкомъ быстромъ движеніи вѣеръ можетъ даже сломаться).

Такимъ образомъ, оказывается, что сопротивленіе воздуха зависитъ отъ формы тѣла (отъ величины перпендикулярнаго къ направленію движенія сѣченія тѣла) и отъ скорости тѣла. Поэтому-то листъ бумаги, имѣющій большіе размѣры, испытываетъ гораздо большее сопротивленіе воздуха и падаетъ медленнѣе, чѣмъ бумажный шарикъ, имѣющій меньшіе размѣры. На основаніи этого намъ приходится нѣсколько измѣнить вышеприведенный выводъ и изложить его такъ: Всѣ тѣла — если не принимать во вниманіе сопротивленія воздуха — падаютъ съ одинаковой скоростью.

Пробковый и свинцовый шарики одинаковой величины испытываютъ при свободномъ паденіи одинаковое сопротивленіе воздуха, такъ какъ и форма и величина ихъ совершенно одинаковы. Но такъ какъ масса пробковаго шарика гораздо меньше массы свинцоваго (почти въ 50 разъ), то первый гораздо сильнѣе задерживается сопротивленіемъ воздуха, чѣмъ свинцовый шарикъ; поэтому послѣдній опережаетъ пробковый. Въ стеклянной трубкѣ, изъ которой выкачанъ воздухъ, всѣ тѣла (свинецъ, дерево, кусочки бумаги) падаютъ съ одной и той же скоростью. — Такъ какъ сопротивленіе воздуха замедляетъ движеніе тѣлъ, то мы называемъ его препятствіемъ движенію (ср. § 129).

Такъ какъ — если не принимать во вниманіе сопротивленія воздуха — всѣ тѣла падаютъ съ одинаковой скоростью, хотя бы они были разнаго вѣса, то мы должны признать, что всѣ тѣла пріобрѣтаютъ отъ силы тяжести одно и то же ускореніе, равное 9,8 м въ секунду.

121. **Силы.** *а*) Мы видѣли, что тѣла могутъ приходить въ движеніе отъ притягательной силы земли (силы тяжести); точно такъже и другія **силы** могутъ производить движеніе. Такъ напр., силою нашихъ мышцъ мы можемъ толкать шары или приводить въ движеніе другія различныя тѣла; магнитъ, благодаря присущей ему магнитной силѣ, можетъ заставить стальную иголку катиться по горизонтальной поверхности стола и т. д.

Для полнаго опредѣленія всякой силы необходимы слѣдующія четыре данныя: 1) **точна ея приложенія**, т. е. та точка тѣла, которую сила непосредственно стремится привести въ движеніе; 2) **ея направленіе**, т. е. прямая линія, вдоль которой сила стремится двигать тѣло (ср. § 7); 3) **ея величина** или **напряженность**, 4) **время ея дѣйствія**.

О величинѣ или напряженности силы—такъ какъ сила сама по себѣ есть нѣчто невидимое — мы можемъ судить только по дѣйствіямъ, которыя производитъ сила. Такъ напр., о мышечной силѣ различныхъ людей мы судимъ по извѣстнымъ дѣйствіямъ: по подниманію тяжестей, бросанію тѣлъ и т. д. Проще всего сравнивать силы съ силой тяжести. Если, напр., прикрѣпить верхній конецъ достаточно сильной стальной спиральной пружины къ прочной балкѣ и сзади нея установить шкалу съ дѣленіями (ср. стр. 24), то это простое приспособленіе можетъ служить силомѣромъ (динамометромъ). Если мы пожелаемъ, напр., при помощи этого прибора сравнить силу нашей руки съ силой тяжести, то мы должны взяться за нижній конецъ пружины, растянуть ее насколько мы въ силахъ, и замѣтить, до какого дѣленія шкалы дотянули мы нижній конецъ пружины. Затѣмъ къ нижнему концу пружины мы должны подвѣшивать гири, пока послѣднія не оттянутъ конецъ пружины до того же самаго дѣленія шкалы. Если, напр., для этого потребовалось 30 **кгр**, то мышечная сила руки соотвѣтствуетъ тягѣ въ 30 **кгр**. Поэтому за единицу силы (1 е. с.) принимается та сила, которая можетъ произвести по направленію своего дѣйствія тягу или давленіе въ одну единицу вѣса (1 **кгр**).

б) Силы, въ зависимости отъ ихъ величины и продолжительности дѣйствія, и производятъ разнообразныя движенія. Существуютъ, во первыхъ, силы, производящія на тѣло продолжительное или непрерывное дѣйствіе. Такъ напр., на свободно падающій съ высоты 100 **м** камень вѣсомъ въ 5 **кгр** въ каждой точкѣ его пути дѣйствуетъ притягательная сила въ 5 **кгр**. Вслѣдствіе этого непрерывнаго дѣйствія движеніе камня становится все быстрѣе и быстрѣе (ускоренное движеніе); но такъ какъ непрерывно дѣйствующая притягательная сила во все время движенія оставалась неизмѣнной (равнялась все время 5 **кгр**), то камень пришелъ въ равномѣрно ускоренное движеніе (свободное паденіе). Если мы положимъ стальную иголку на поверхность стола

и приблизимъ къ ней магнитъ, то мы замѣтимъ, что иголка станетъ катиться къ магниту. Въ теченіе всего времени этого движенія дѣйствуетъ магнитная сила; значитъ это точно также непрерывно дѣйствующая сила, и, слѣдовательно, въ этомъ случаѣ ею будетъ произведено также ускоренное движеніе. Но въ этомъ случаѣ сила магнитнаго притяженія тѣмъ меньше, чѣмъ дальше находится игла отъ магнита, а потому здѣсь мы имѣемъ дѣло съ неравномѣрно дѣйствующей перемѣнной силой; послѣдняя поэтому производитъ неравномѣрно ускоренное движеніе.

в) Если сила послѣ нѣкотораго корсткаго промежутка времени перестаетъ дѣйствовать, то она называется ударяющей, толкающей силой или ударомъ. Такъ напр., сила нашихъ мышцъ дѣйствуетъ на камень, который мы бросаемъ рукой, непрерывно лишь до тѣхъ поръ, пока камень находится въ нашей рукѣ; когда же мы выпустимъ его изъ руки, то камень долженъ продолжать двигаться равномѣрно по закону инерціи съ тою скоростью, которую ему сообщили рукой. Здѣсь равномѣрное движеніе камня произведено толкнувшей силой — силой нашихъ мышцъ.

Пороховые газы постоянно или непрерывно давятъ на снарядъ все время, пока онъ еще находится въ каналѣ орудія. Въ теченіе этого, правда, весьма короткаго, но все же измѣримаго промежутка времени, скорость снаряда должна, слѣдовательно, непрерывно возрастать. Значитъ, въ каналѣ орудія снарядъ совершаетъ ускоренное движеніе. Съ момента-же, когда снарядъ вылетаетъ изъ дула орудія, пороховые газы уже не могутъ дѣйствовать на снарядъ; они представляютъ собой толкнувшую силу, отъ дѣйствія которой снарядъ продолжалъ бы двигаться равномѣрно по прямой линіи со скоростью, которую онъ имѣлъ при вылетѣ изъ канала пушки, если бы не производили измѣненія въ его движеніи силы, препятствующія движенію (напр. сопротивленіе воздуха), и силы, создающія движеніе (напр. сила тяжести).

г) Если тѣло движется равномѣрно (значитъ на него подѣйствовала ударившая сила) и если въ то же время другая непрерывно дѣйствующая сила стремится воспрепятствовать этому движенію, то тѣло совершаетъ замедленное движеніе; послѣднее бываетъ равномѣрно замедленнымъ, если препятствующая сила остается постоянной и наоборотъ, неравномѣрно замедленнымъ, если она будетъ перемѣнна. Сила, стремящаяся воспрепятствовать движенію, называется сопротивленіемъ движенію.

Катящійся по льду шаръ, поѣздъ, движущійся по рельсамъ съ прикрытымъ паромъ и пр. испытываютъ замедленіе вслѣдствіе непрерывнаго дѣй-

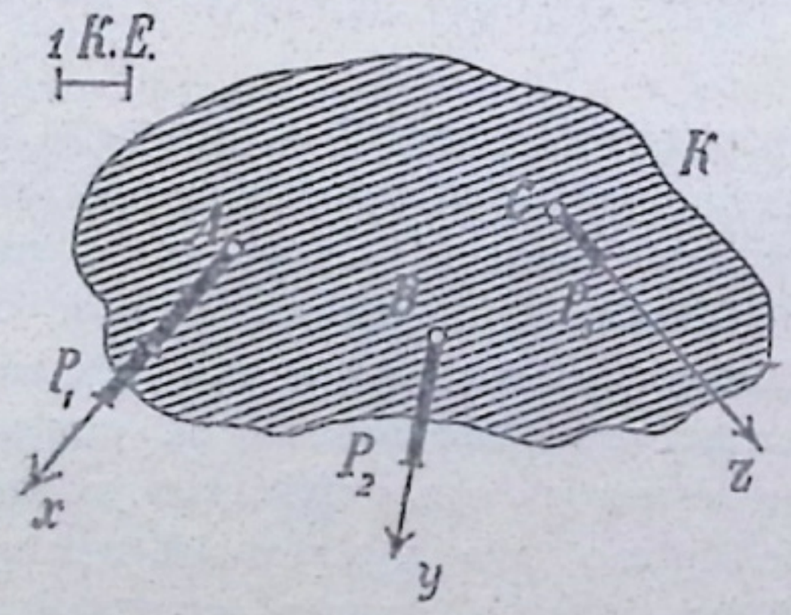
ствія тренія, представляющаго сопротивленіе движенію (§ 129), и потому движутся замедленно. Заслуживаетъ вниманіе слѣдующее сопоставленіе различныхъ силъ:

Силы:

Ударяющія, толкающія силы (удары) (сообщаютъ тѣлу нѣкоторую скорость, съ которой оно по закону инерціи продолжаетъ двигаться равномѣрно).		Непрерывно дѣйствующія силы (производятъ непрерывное измѣненіе скорости, слѣдовательно, производятъ неравномѣрныя движенія).	
Силы, производящія движеніе (создаютъ ускоренное движеніе.)		Силы, препятствующія движенію, сопротивленія. (производятъ замедленное движеніе)	
Постоянныя силы (равномѣрно-ускоренныя движенія)	Перемѣнныя силы (неравномѣрно-ускоренныя движенія)	Постоянныя сопротивленія (равномѣрно-замедленныя движенія)	Перемѣнныя сопротивленія (неравномѣрно-замедленныя движенія)

Сравните эту таблицу съ приведенной въ § 116 таблицей главныхъ формъ движенія.

д) Силы часто изображаютъ прямыми линіями. Такъ напр., на фиг. 185 P_1, P_2, P_3 представляютъ три силы, точки приложенія которыхъ соотвѣтственно обозначены буквами A, B, C, а направленія стрѣлками Ax, By и Cz. Если затѣмъ мы примемъ произвольный отрѣзокъ за изображеніе единицы силы (*К. Е.*), то, какъ видно изъ рисунка, P_1 будетъ соотвѣтствовать 3 единицамъ силы P_2 — 2 единицамъ, а P_3 — 1 единицѣ силы.



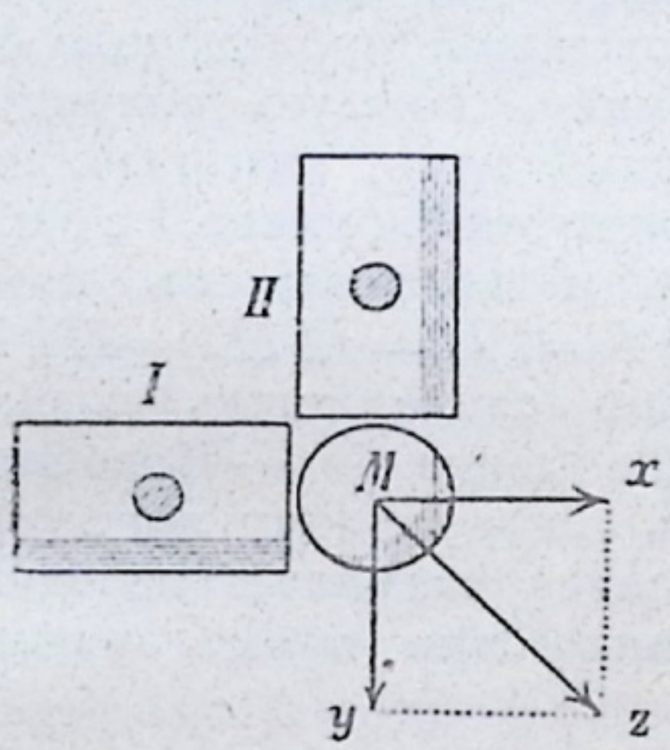
Фиг. 185.

Этотъ графическій способъ изображенія силъ даетъ, слѣдовательно, возможность обозначать всѣ необходимые, элементы опредѣленія силъ, за исключеніемъ лишь «продолжительности дѣйствія силы».

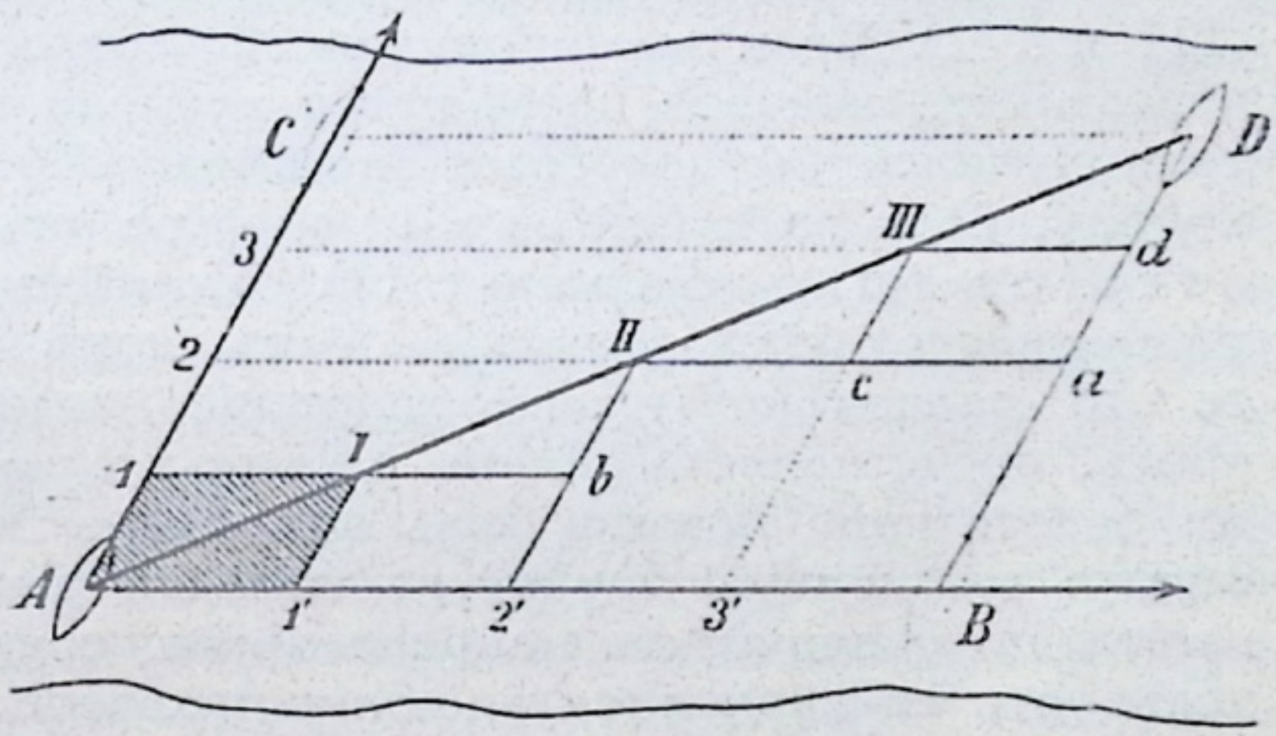
122. **Сложеніе и разложеніе движеній. Законъ параллелограмма.** *а*) На горизонтальной поверхности стола (или на полу) лежитъ шаръ M (фиг. 186). Около шара расположены, какъ это изображено на фиг. 186 — если смотрѣть сверху — два насколько возможно равные по вѣсу молотка I и II (напр. два крокетныхъ молотка). Если мы слегка ударимъ по шару молоткомъ I, то шаръ покатится по направленію Mx; при ударѣ же только молоткомъ II шаръ покатится по линіи My. Если же мы одновременно

и съ одинаковой приблизительно силой ударимъ обоими молотками, то шаръ покатится по линіи *Mx*, дѣлящей уголъ *xMy* пополамъ. Если оба удара будутъ неодинаковой силы, то путь шара будетъ лежать ближе къ направленію болѣе сильнаго удара.

Этотъ опытъ показываетъ намъ слѣдующее: если тѣло должно одновременно двигаться отъ дѣйствія двухъ причинъ, то оно совершаетъ движеніе, отличное отъ каждаго изъ движеній, производимыхъ каждой изъ этихъ причинъ въ отдѣльности. Совершаемое при этомъ движеніе называется сложнымъ; такъ какъ оно представляетъ фактическій результатъ двухъ движеній, одновременно сообщенныхъ тѣлу, то оно называется также **равнодѣйствующимъ** движеніемъ или движеніемъ по діагонали въ отличіе отъ простыхъ, **слагающихъ** движеній, происходящихъ по сторонамъ параллелограмма. Нахожденіе равнодѣйствующаго движенія по даннымъ слагающимъ называется **сложеніемъ движеній.**



Фиг. 186.



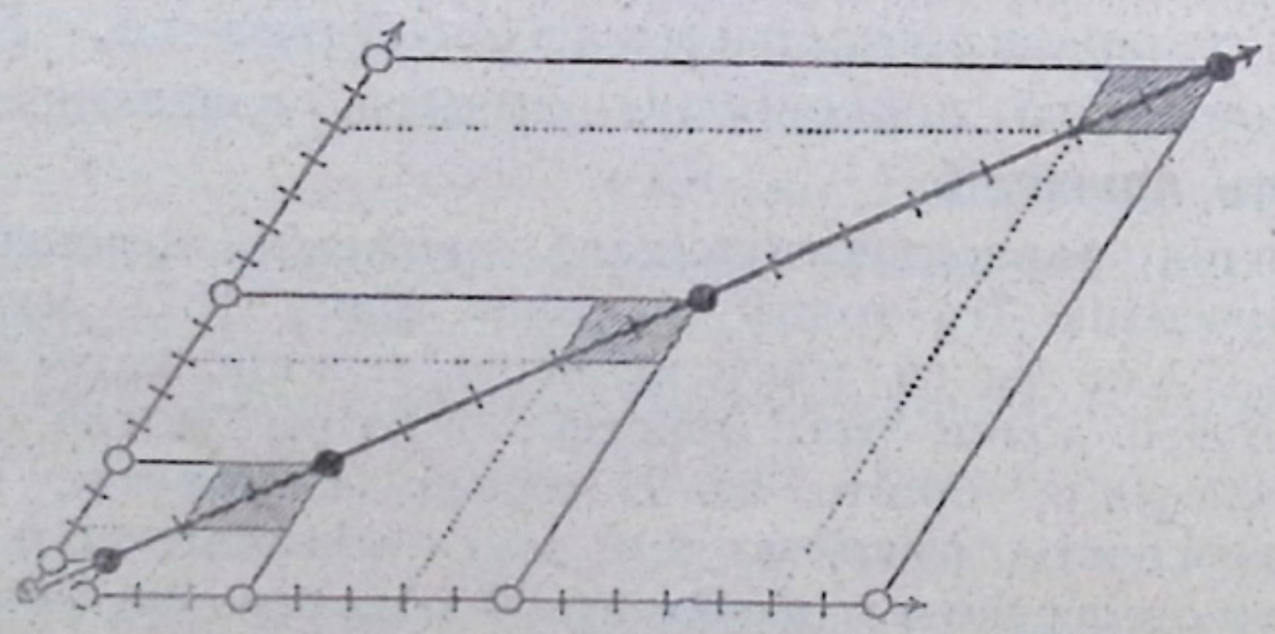
Фиг. 187.

Способъ нахожденія равнодѣйствующаго движенія выяснится изъ слѣдующаго разсужденія. Въ точкѣ *A* рѣки (фиг. 187) находится парусная лодка. Если бы въ рѣкѣ не было теченія, какъ это бываетъ въ прудѣ, то эта лодка отъ дѣйствія вѣтра могла бы, двигаясь равномѣрно, прійти въ *B* черезъ 4 минуты. Въ свою очередь одно теченіе рѣки за тѣ же 4 минуты точно такъ же при равномѣрномъ движеніи отнесло бы лодку въ точку *C*. Какъ же будетъ двигаться лодка при одновременномъ дѣйствіи силы вѣтра и силы теченія? Представимъ себѣ, что лодка будетъ совершать оба эти движенія не одновременно, а одно за другимъ; тогда, очевидно, черезъ 4 минуты отъ дѣйствія одного только теченія лодка окажется въ точкѣ *C*, а оттуда за

слѣдующія 4 минуты отъ одного дѣйствія вѣтра перейдетъ въ точку D, расположенную такъ, что BD равно и параллельно AC. Такимъ образомъ, конечнымъ пунктомъ равнодѣйствующаго движенія является D. Но разсуждая такимъ же образомъ, мы можемъ опредѣлить и промежуточные пункты этого равнодѣйствующаго движенія. А именно, если лодка въ теченіе 2 минутъ будетъ двигаться отъ силы теченія, а затѣмъ слѣдующія 2 минуты только отъ силы вѣтра, потомъ опять въ теченіе 2 минутъ отъ силы теченія и, наконецъ, послѣднія 2 минуты снова отъ вѣтра, то она пройдетъ по ломанной линіи $A2'IIaD$. Можно доказать геометрически, что промежуточная точка II находится въ серединѣ діагонали. Если бы вышеуказанные два рода движенія смѣняли другъ друга черезъ каждую минуту, то для пути лодки получили-бы ломанную линію $A1'1bIIcIIIdD$ съ новыми промежуточными пунктами I и III, которые должны лежать въ серединѣ линій AII и IID. Если же смѣна двухъ родовъ движеній происходила бы черезъ еще меньшіе промежутки времени (напр. каждую секунду), то получился бы подобный же зигзагообразный путь, который, наконецъ, если взять весьма малые промежутки времени, сольется съ діагональю AD. Послѣдняя и изображаетъ намъ равнодѣйствующее движеніе. Такъ какъ $AI=III=IIIII=IIID$, то это равнодѣйствующее движеніе, подобно слагающимъ движеніямъ, представляетъ собой равномѣрное движеніе. — Подобное же разсужденіе можетъ быть приложено къ слѣдующему простому опыту: стеклянную трубку, въ которой катается шарикъ, передвигаютъ по различнымъ направленіямъ, сохраняя при этомъ параллельность ея первоначальному направленію.

Изъ этого вытекаетъ слѣдующій сокращенный способъ построенія. На данныхъ слагающихъ движеніяхъ AB и AC (фиг. 187) строятъ параллелограммъ (**параллелограммъ движеній**); діагональ параллелограмма AD даетъ намъ равнодѣйствующее движеніе.

б) Построенный такимъ образомъ параллелограммъ можно назвать также **параллелограммомъ пройденныхъ пространствъ.** Пользуясь рисункомъ 187 объясните, почему построенный на линіяхъ $A1$ и $A1'$ параллелограммъ $A1'I1$ слѣдуетъ назвать **параллелограммомъ скоростей**! Что представляетъ собой діагональ AI?—Фиг. 188



Фиг. 188.

изображаетъ намъ сложеніе двухъ равномѣрно ускоренныхъ движеній. Объясните этотъ рисунокъ. Какого рода движеніе получается при этомъ? Въ какомъ смыслѣ заштрихованные параллелограммы представляютъ собой **параллелограммы ускореній?**

в) Такимъ образомъ, пользуясь правиломъ «параллелограмма движеній», мы можемъ два данныя по величинѣ и направленію движенія (два пройденныхъ пространства, двѣ скорости, два ускоренія) складывать въ одно равнодѣйствующее движеніе, такъ какъ по даннымъ сторонамъ и угламъ параллелограмма можно построить самый параллелограммъ и искомую діагональ его. Точно также и наоборотъ: пользуясь тѣмъ же правиломъ параллелограмма, можно данное (равнодѣйствующее) движеніе разложить на слагающія движенія; но въ этомъ случаѣ, чтобы задача допускала одно опредѣленное рѣшеніе, необходимо, чтобы, кромѣ данной діагонали, были даны еще два элемента параллелограмма. Какіе случаи возможны при этомъ? Эта обратная задача носитъ названіе **разложенія движеній** (пройденныхъ пространствъ, скоростей, ускореній).

г) Особенно просто дѣлается сложеніе двухъ движеній, направленія которыхъ совпадаютъ съ одной и той же прямой. Если, напр., пароходъ движется впередъ по прямому направленію со скоростью 10 м въ секунду, а мы въ это время будемъ идти по палубѣ по средней линіи парохода отъ кормы къ носу со скоростью 1 м въ секунду, то, по отношенію къ находящейся въ состояніи покоя поверхности воды, мы будемъ двигаться впередъ со скоростью $(10 + 1)$ м $= 11$ м. Если же мы повернемъ обратно и пойдемъ съ той же скоростью отъ носа къ рулю, то скорость нашего поступательнаго движенія относительно неподвижной поверхности воды будетъ уже только $(10 - 1)$ м $= 9$ м.

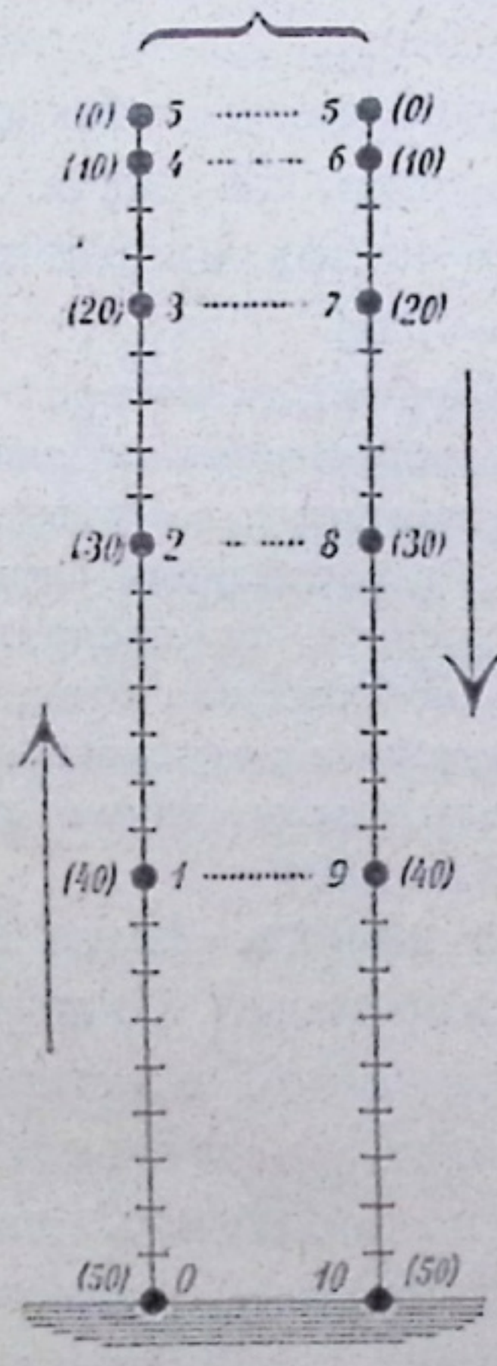
Повторимъ опытъ съ вышеупомянутой стеклянной трубкой, въ которой катается шарикъ. Теперь передвигать трубку мы будемъ въ направленіи ея длины и при томъ въ первомъ случаѣ по направленію движенія шарика, а во второмъ по направленію, противоположному этому движенію. Если въ послѣднемъ случаѣ трубку двигать со скоростью, равной скорости движенія шарика, то послѣдній, несмотря на быстрое вращеніе, остается по отношенію къ поверхности стола на одномъ и томъ же мѣстѣ. Попробуйте также оба вышеприведенные результата вывести изъ «правила параллелограмма», принявъ, что уголъ между двумя слагающими движеніями *а*) уменьшился до 0^0, *б*) увеличился до 180^0!

123. **Движеніе тѣла брошеннаго вертикально вверхъ.** Если мы бросимъ камень по вертикали вверхъ со скоростью 50 м въ секунду, то вслѣдствіе силы тяжести, дѣйствующей въ противоположномъ направленіи, онъ въ теченіе каждой секунды теряетъ по 10 м (точнѣе 9,8 м) изъ своей скорости. Движеніе камня вверхъ будетъ равномѣрно замедленное. Поэтому онъ можетъ подниматься вверхъ лишь до тѣхъ поръ, пока его начальная скорость не будетъ исчерпана вышеуказанными потерями скорости (замедленіемъ). Въ нашемъ примѣрѣ при скорости въ 50 м это произойдетъ по истеченіи 5 секундъ.

Поэтому, чтобы найти время, въ теченіе котораго будетъ подниматься тѣло, брошенное вертикально вверхъ (время подъема), нужно скорость, сообщенную тѣлу при бросаніи вверхъ, раздѣлить на замедленіе. Для опредѣленія высоты, на которой будетъ находиться тѣло, **брошенное вертикально вверхъ** въ извѣстный моментъ, мы воспользуемся, какъ это мы сдѣлали въ § 117, средней скоростью.

Въ началѣ (когда протекшее время равно нулю) тѣло обладаетъ скоростью въ 50 м въ секунду, по истеченіи же 1-ой секунды скорость его равна только 40 м въ секунду; за это время оно поднимется вверхъ на такую высоту, какой оно достигло бы, если бы въ теченіе 1 секунды двигалось вверхъ равномѣрно со скоростью, равной среднему ариѳметическому 50 м и 40 м, т. е. со скоростью $\left(\frac{50+40}{2}\right)$ м $=45$ м. Подобнымъ же образомъ для второй секунды подъема пройденный путь будетъ равенъ $\left(\frac{40+30}{2}\right)$ м $=35$ м и т. д.

Фиг. 189 (слѣва) представляетъ пройденныя пространства въ уменьшенномъ масштабѣ, при чемъ каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ въ дѣйствительности 5 м; числа въ скобкахъ означаютъ выраженныя въ метрахъ скорости въ соотвѣтствующіе моменты. Всю высоту, на которую поднимется вверхъ тѣло мы точно также можемъ опредѣлить съ помощью средней скорости. А именно: начальная скорость брошеннаго вверхъ тѣла равна 50 м; по истеченіи 5 секундъ скорость его доходитъ до 0. При этомъ тѣло проходитъ то же самое пространство, которое оно прошло бы, если бы въ теченіе этихъ 5 секундъ двигалось бы вверхъ равномѣрно со скоростью равной, среднему ариѳметическому 50 м и 0 м, т. е. со скоростью 25 м. Такимъ образомъ, весь пройденный путь найдемъ, умноживъ 25 м на 5. Такъ называемая высота подъема будетъ, слѣдовательно, равна 125 м.



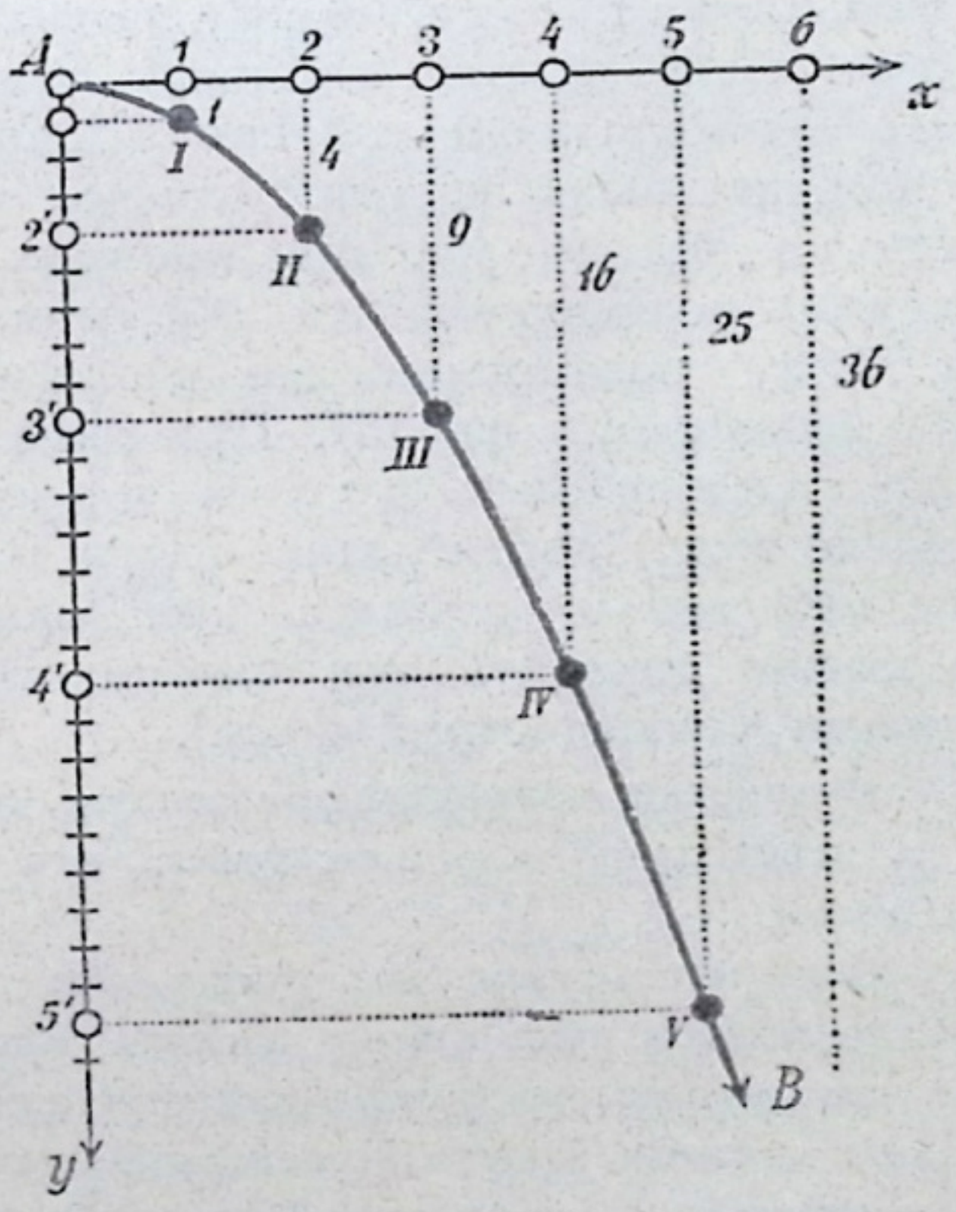
Фиг. 189.

Достигнувъ высшей точки подъема, тѣло не останавливается, но тотчасъ же начинаетъ свободно падать внизъ. Правая часть фиг. 189 представляетъ изображеніе этого уже извѣстнаго намъ движенія. Изъ фиг. 189 мы видимъ, что брошенное вертикально вверхъ тѣло поднимается вверхъ столько же времени, сколько оно падаетъ внизъ, и доходитъ до точки, съ которой начался его подъемъ съ той же самой скоростью, съ какой оно начало подниматься вверхъ.

Задачи: 1. Тѣло брошено вертикально вверхъ со скоростью 80 м; на какую высоту оно поднимется? Черезъ сколько секундъ оно упадетъ обратно? 2. Съ какой скоростью вылетаетъ изъ дула ружейная пуля при выстрѣлѣ вертикально вверхъ, если назадъ она упадетъ по истеченіи 20 секундъ? 3. Если скорость руки 20 м въ 1 сек., на какую наибольшую высоту можетъ подняться тѣло, брошенное ею вертикально вверхъ? 4. На какую высоту поднялся мячъ, брошенный вертикально вверхъ, если на землю онъ возвратился черезъ 4 секунды. 5. Сколько времени и на какую высоту поднимается снарядъ, выпущенный вертикально вверхъ изъ крѣпостного орудія, если начальная скорость его равна 610 м въ секунду. Сравните высоту подъема его съ высотой самой высокой горы въ мірѣ (Гауризанкара = 8840 м)! 6. Тѣло брошено вертикально вверхъ съ начальной скоростью въ 120 м (160 м) въ 1 сек. Сколько времени и до какой высоты оно поднимется. На какой высотѣ находится оно въ тотъ моментъ, когда его первоначальная скорость уменьшилась вдвое (вчетверо)?

124. **Движеніе горизонтально брошеннаго тѣла.** Тѣло, брошенное по горизонтальному направленію, движется по криволинейному пути, называемому траекторіей или параболой; путь этотъ легко можно опредѣлить построеніемъ.

На фиг. 190 направленіе, по которому было брошено тѣло, изображено линіей Ax; если бы брошенное тѣло подвергалось дѣйствію одной только силы метанія, то въ теченіе равныхъ промежутковъ времени оно проходило бы равныя пространства и достигло бы въ концѣ первой секунды, напр. точки 1, въ концѣ второй — точки 2 и т. д. Но такъ какъ въ то же самое время оно подвергается постоянному дѣйствію силы тяжести, то въ теченіе этого-же времени оно падаетъ, а именно — въ первую секунду на 5 м, въ теченіе двухъ секундъ на 4×5 м, въ теченіе трехъ секундъ на 9×5 м и т. д. Если мы будемъ откладывать эти пройденныя пространства на Ay, начиная отъ A, и обозначимъ конечные пункты, достигнутые въ теченіе отдѣльныхъ одна за другой слѣдующихъ секундъ, черезъ $1'$, $2'$, $3'$ и т. д., то въ вершинахъ I, II, III и т. д. параллелограммовъ движенія получимъ точки пути, въ которыхъ брошенное тѣло находится въ концѣ 1-й, 2-й, 3-й и т. д. секундъ. Соединивъ, наконецъ, эти вершины параллелограммовъ кривой AB, получимъ траекторію или параболу.



Фиг. 190.

Какова въ дѣйствительности длина линій 1I, 2II,...? Сколькимъ метрамъ въ секунду равна изображенная въ этомъ масштабѣ начальная скорость тѣла по горизонтальному направленію?

Задачи: 1. На сколько опустится пуля при горизонтальномъ выстрѣлѣ спустя двѣ секунды, $^1/_2$ секунды, $1^1/_2$ секунды? 2. Сколько метровъ пролетитъ пуля при выстрѣлѣ, произведенномъ по горизонтальному направленію съ высоты въ 45 м, если скорость при вылетѣ изъ дула равна 250 м въ 1 ск? 3. Если мы изъ A (фиг. 190) по горизонтальному направленію Ax бросимъ какое-либо тѣло и одновременно пустимъ другое тѣло свободно падать также изъ A по направленію Ay, то которое изъ этихъ двухъ тѣлъ р а н ь ш е упадетъ на землю?

125. **Движеніе тѣла, брошеннаго наклонно къ горизонту.** Тѣло, брошенное вверхъ по направленію, **наклонному** къ горизонту, также описываетъ кривую линію—п а р а б о л у, способъ построенія которой виденъ изъ фиг. 191. AB называется д а л ь н о с т ь ю п о л е т а, CM — в ы с о т о й п о д ъ е м а; уголъ $BA6$ (уголъ между направленіемъ, по которому брошено тѣло, и горизонтомъ) носитъ названіе у г л а в о з в ы ш е н і я.

На фиг. 192 представлены три параболы, построенныя тѣмъ же самымъ способомъ; начальная скорость вылета во всѣхъ трехъ случаяхъ была одинакова, тогда какъ уголъ возвышенія равнялся 20^0, 45^0 и 70^0. Уже изъ фигуры 192 можно вывести слѣдующіе законы.

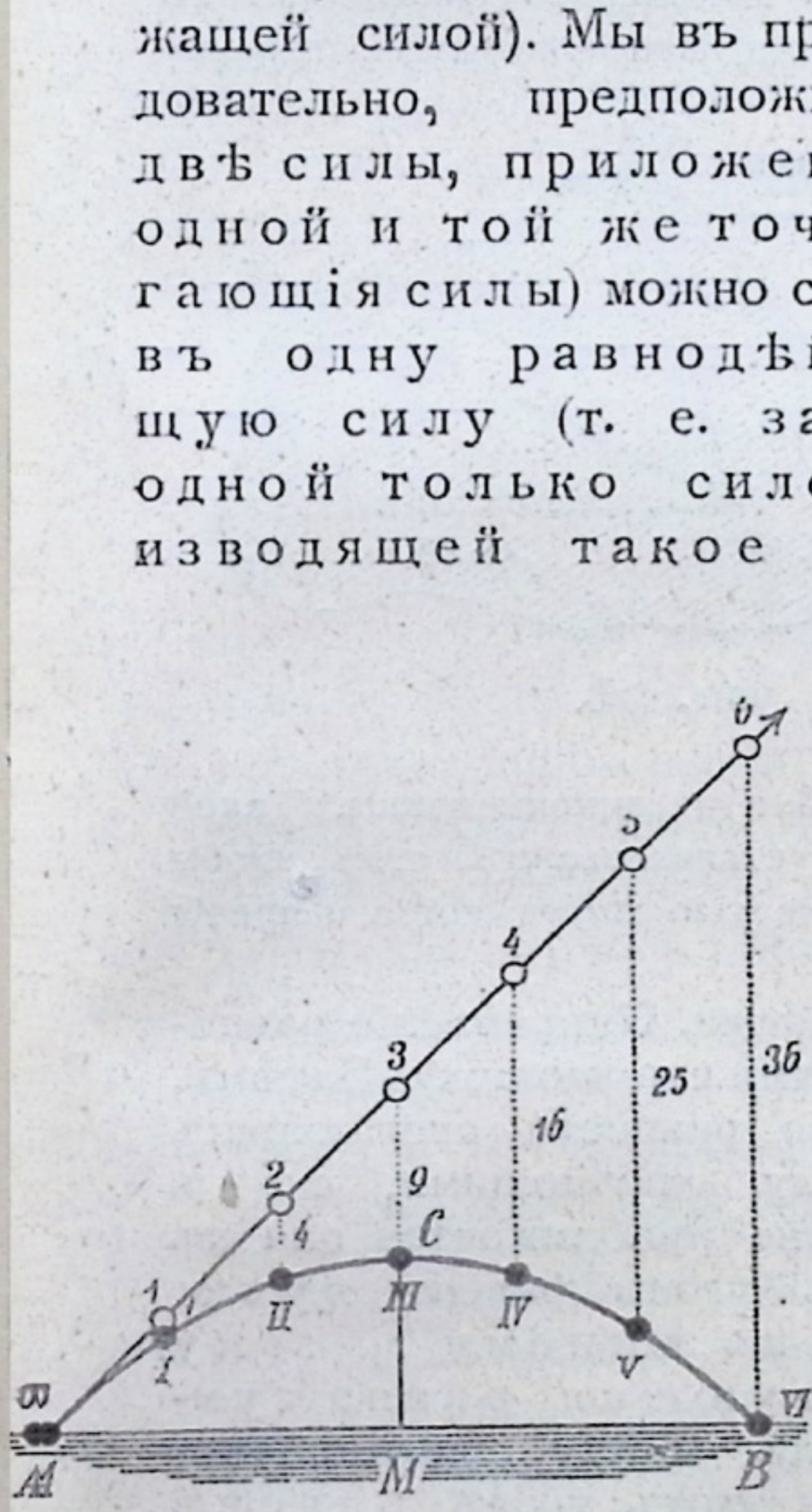
К а к ъ в ы с о т а п о д ъ е м а, т а к ъ и д а л ь н о с т ь п о л е т а з а в и с я т ъ 1) о т ъ н а ч а л ь н о й с к о р о с т и, и, значитъ, о т ъ в е л и ч и н ы м е т а т е л ь н о й силы, а также 2) о т ъ в е л и ч и н ы у г л а в о з в ы ш е н і я. Чѣмъ больше метательная сила, тѣмъ больше должны быть высота подъема и дальность полета. Наибольшая в ы с о т а п о д ъ е м а при прочихъ равныхъ условіяхъ достигается при углѣ возвышенія въ 90^0 (при бросаніи вверхъ по вертикали, фиг. 189); наибольшая же д а л ь н о с т ь п о л е т а получается при углѣ возвышенія въ 45^0. При двухъ углахъ возвышенія, в з а и м н о д о п о л н я ю щ и х ъ д р у г ъ д р у г а до 90^0 (напр. 20^0 и 70^0, 30^0 и 60^0 и т. д.) достигается о д н а и т а ж е д а л ь н о с т ь п о л е т а, в ы с о т а ж е п о д ъ е м а при этихъ углахъ различна. (На опытѣ это можно доказать при помощи направленныхъ вверхъ подъ различными углами струй воды).

Вслѣдствіе сопротивленія воздуха брошенное тѣло описываетъ не параболу, а нѣсколько отклоняющуюся отъ нея кривую (б а л л и с т и ч е с к у ю к р и в у ю).

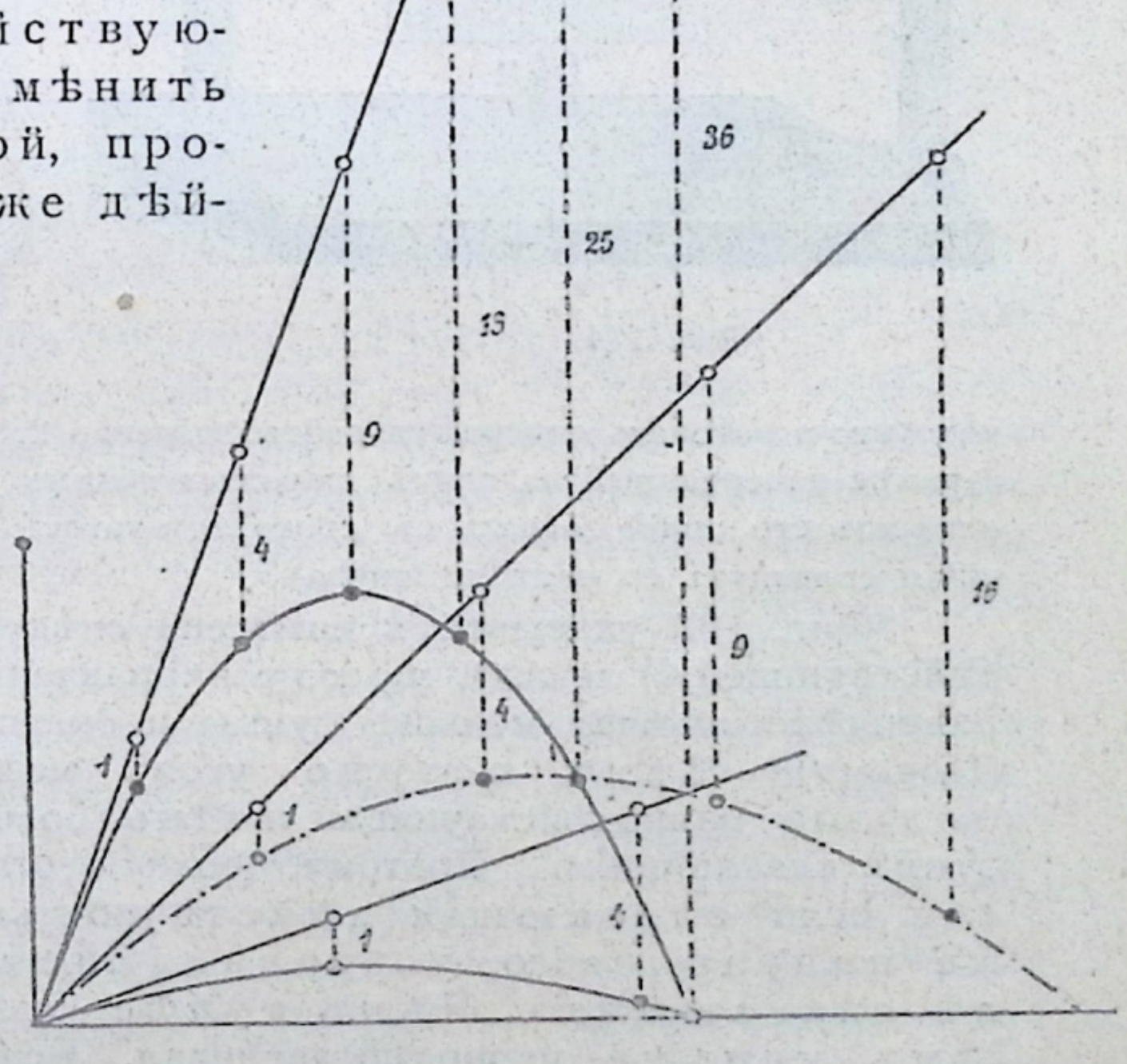
Если мы желаемъ изъ ружья или пушки попасть въ довольно далекую цѣль, то конецъ дула нужно поднять нѣсколько выше самой цѣли, такъ какъ пуля или снарядъ вслѣдствіе дѣйствія силы тяжести должны опуститься. Точное изученіе кривыхъ полета (траекторій) весьма важно какъ для пѣхоты, такъ и для артиллеріи. Почему это? При стрѣльбѣ по открытымъ цѣлямъ, напр. по стѣнамъ, по неприкрытымъ войскамъ, въ артиллеріи примѣняются такъ называемые н а с т и л ь н ы е в ы с т р ѣ л ы, а при обстрѣливаніи внутренности крѣпости — н а в ѣ с н ы е.

126. **Сложеніе силъ.** Описанные въ началѣ § 122 опыты показываютъ, что тѣло, которое отъ одновременнаго дѣйствія на него д в у х ъ п р и ч и н ъ д в и ж е н і я (силъ) должно одновремен-

но совершать два различныя движенія, въ дѣйствительности совершаетъ одно равнодѣйствующее движеніе, отличающееся отъ обоихъ этихъ движеній. Но такое же движеніе, какъ это равнодѣйствующее, можно вызвать и при помощи одной только причины движенія (напр. ударомъ одного только молотка, произведеннымъ по надлежащему направленію и съ надлежащей силой). Мы въ правѣ, слѣдовательно, предположить, что двѣ силы, приложенныя въ одной и той же точкѣ (слагающія силы) можно сложить въ одну равнодѣйствующую силу (т. е. замѣнить одной только силой, производящей такое же дѣйствіе, какъ и обѣ слагающія силы) такимъ же образомъ, какъ мы складывали движеніе.



Фиг. 191.

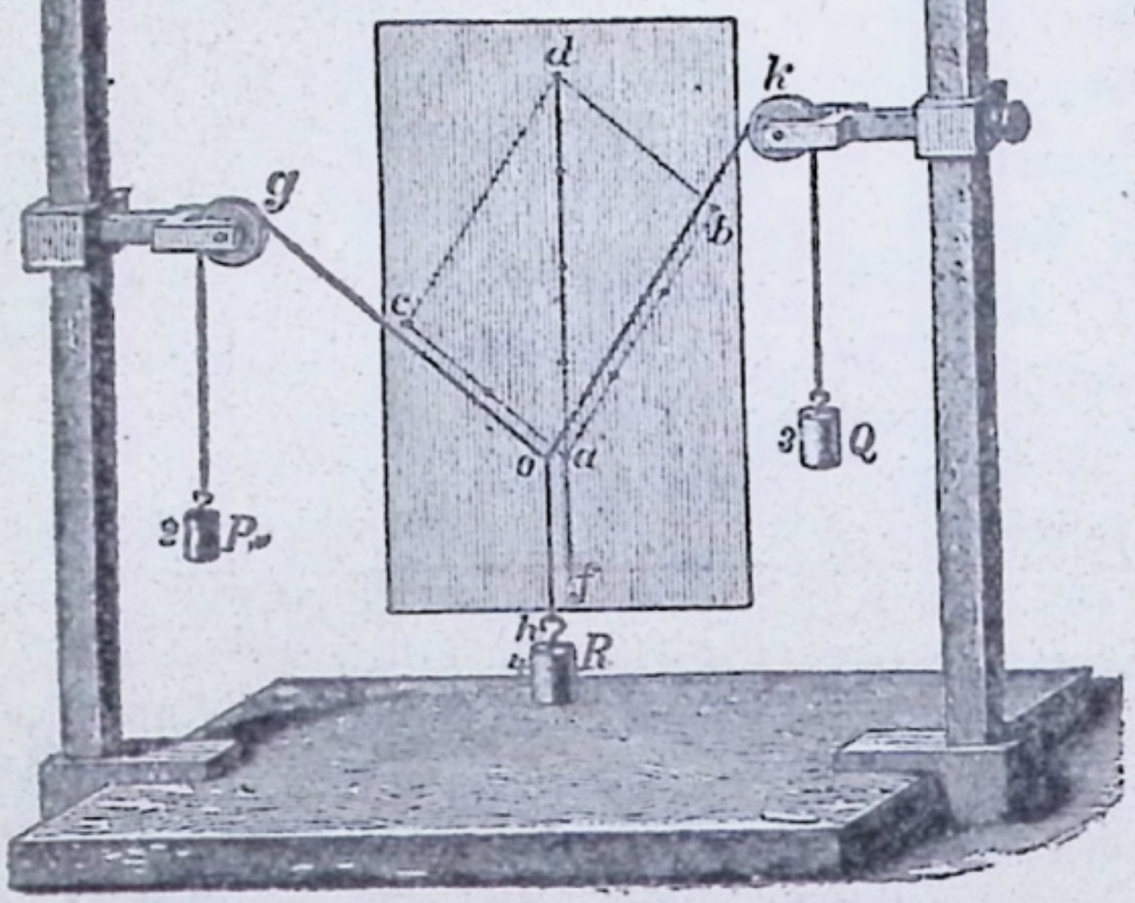


Фиг. 192.

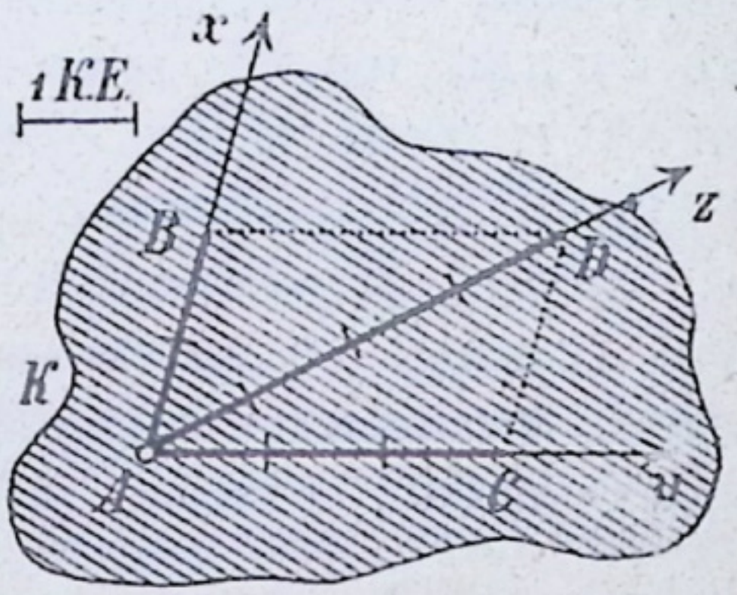
Пусть, напр., на тѣло K (фиг. 193) дѣйствуютъ приложенныя въ одной точкѣ A двѣ силы AB и AC, величины которыхъ соотвѣтственно равны 2 и 3 единицамъ силы и которыя направлены по Ax и Ay. Эти двѣ силы могутъ быть замѣнены одной равнодѣйствующей силой, величину которой AD и напра-

вленіе Ax мы найдемъ, построивъ на AB и AC параллелограммъ и опредѣливъ идущую отъ точки A діагональ AD (**Сложеніе силъ при помощи параллелограмма силъ**).

Правильность вышесказаннаго способа сложенія силъ можно доказать при помощи прибора, изображеннаго на фиг. 194. Двѣ гири, дѣйствующія какъ силы тяги въ 2 и въ 3 единицы силы (единицы вѣса), производятъ по вертикальному направленію вверхъ тягу въ 4 единицы вѣса. А потому, если по серединѣ шнура подвѣсить 4 единицы вѣса, то части шнура примутъ положеніе, совпадающее съ линіями параллелограмма, стороны



Фиг. 194.



Фиг. 193.

котораго и діагональ содержатъ соотвѣтственно 2, 3 и 4 единицы длины. (Такой заранѣе начертанный на папкѣ параллелограммъ устанавливаютъ такъ, чтобы одна изъ его линій совпала съ соотвѣтствующей частью шнура; тогда и прочія линіи совпадутъ съ частями шнура).

Фиг. 193 указываетъ намъ еще слѣдующее. Направленіе равнодѣйствующей *) лежитъ между направленіями слагающихъ. Затѣмъ, равнодѣйствующая меньше суммы и больше разности слагающихъ (Почему)? Чѣмъ острѣе уголъ между слагающими, тѣмъ больше равнодѣйствующая и тѣмъ больше приближается она къ суммѣ слагающихъ. Поэтому, если этотъ уголъ равенъ нулю, т. е. если слагающія дѣйствуютъ по одному и тому же направленію, то равнодѣйствующая равна суммѣ слагающихъ. Чѣмъ тупѣе уголъ между слагающими, тѣмъ меньше равнодѣйствующая. Если этотъ уголъ равенъ двумъ прямымъ, т. е. если слагающія дѣйствуютъ въ противоположныхъ направленіяхъ, то равнодѣйствующая равна разности слагающихъ; она дѣйствуетъ въ этомъ случаѣ по направленію большей силы. Если при этомъ слагающія равны, то онѣ уравновѣшиваютъ другъ друга;

---

*) Для краткости говорятъ, вмѣсто равнодѣйствующая сила, слагающая сила, просто: равнодѣйствующая, слагающая.

равнодѣйствующая тогда равна «нулю», т. е. въ этомъ случаѣ нѣтъ такой силы, которой можно было замѣнить обѣ слагающія; дѣйствительно, одна сила всегда должна вызывать движеніе.

Задачи: 1. При помощи построенія найдите равнодѣйствующую P двухъ дѣйствующихъ подъ угломъ γ слагающихъ C_1 и C_2 для слѣдующихъ случаевъ: *а*) $C_1 = 4$ единицамъ силы, $C_2 = 3$ ед. с., $\gamma = 90^0$; *б*) $C_1 = 13$ ед. с., $C_2 = 9$ ед. с., $\gamma = 67^1/_2{}^0$; *в*) $C_1 = 11$ ед. с., $C_2 = 8$ ед. с., $\gamma = 66^0$; *г*) C_1 и $C_2 = 5$ ед. с., $\gamma = 30^0$; *д*) $C_1 = C_2 = 5$ ед. с., $\gamma = 90^0$; *е*) $C_1 = C_2 = 5$ ед. с., $\gamma = 120^0$; *ж*) $C_1 = C_2 = 5$ ед. с., $\gamma = 150^0$. 2. Двѣ силы $C_1 = 5$ ед. с., $C_2 = 1$ ед. с. дѣйствуютъ подъ прямымъ угломъ; вычислите величину равнодѣйствующей! 3. То же что и въ задач. 2 для $C_1 = 28$ ед. с. $C_2 = 45$ ед. с., $\gamma = 90^0$. 4. Какъ найти равнодѣйствующую 3, 4... силъ, приложенныхъ въ одной точкѣ? 5. Найдите равнодѣйствующую трехъ (четырехъ) равныхъ между собой силъ, изъ которыхъ каждая пара образуютъ другъ съ другомъ уголъ въ 120^0 (90^0)?

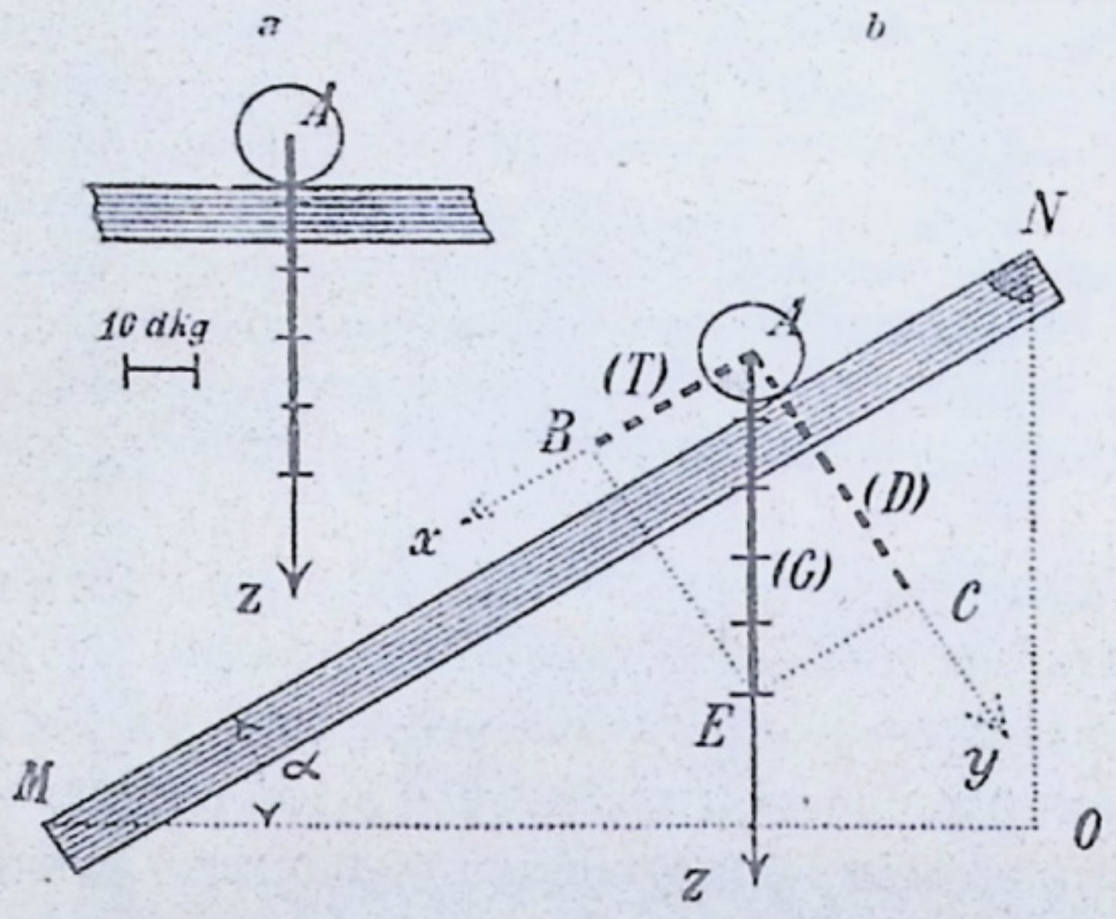
127. **Разложеніе силъ.** Мы уже видѣли (§ 122), что одно движеніе можно разложить на два (или болѣе) движеній. Такимъ же образомъ мы можемъ одну силу замѣнить двумя (или болѣе) силами, или разложить эту силу на другія силы. Но такъ какъ на линіи, изображающей силу, которую надо разложить, можно построить безчисленное множество различныхъ параллелограмовъ, которые всѣ будутъ имѣть діагональ, равную данной линіи, то **разложеніе силы на слагающія** только тогда будетъ опредѣленной задачей, когда, кромѣ силы, которую надо разложить, даны еще два элемента параллелограма силъ. Изо всѣхъ возможныхъ случаевъ наибольшую важность представляетъ такая задача: по данной (по величинѣ и направленію) равнодѣйствующей AD (фиг. 193) и по даннымъ направленіямъ слагающихъ Ax и Ay опредѣлить величины этихъ слагающихъ (т. е. AB и AC). Для рѣшенія этой задачи нужно чрезъ точку D провести прямыя DC и DB, параллельныя Ax и Ay.

Сдѣлайте указанное разложеніе для различныхъ величинъ этихъ данныхъ!

128. **Движеніе по наклонной плоскости.** *а*) Гладко выстроганная доска длиной около 1 **м** и шириной около 40 **цт** кладется на горизонтальную поверхность стола. Поставимъ теперь на эту доску латунную гирю вѣсомъ въ 500 **гр** съ гладкой поверхностью нижняго основанія; гиря остается въ состояніи покоя, такъ какъ прочная деревянная доска выдерживаетъ давленіе груза въ 500 **гр**, не ломаясь и не продавливаясь. По той же причинѣ и точно выточенный шаръ вѣсомъ въ 500 **гр** остается на доскѣ въ состояніи покоя (фиг. 195 *а*).

Подставка изъ папиросной бумаги вѣроятно не выдержала бы такого давленія груза и прорвалась бы; въ этомъ случаѣ гиря (шаръ) пришла бы въ движеніе.

б) Если мы станемъ вращать доску около одного изъ узкихъ краевъ такъ, чтобы она приняла наклонное положеніе относительно поверхности стола, то при достиженіи достаточнаго наклона гиря начнетъ скользить внизъ; точно также и шаръ при наклонѣ доски сейчасъ же покатится внизъ. Будемъ придавать доскѣ различный наклонъ и каждый разъ будемъ класть гирю или шаръ на самомъ верху доски; при этомъ мы ясно увидимъ, что соскальзываніе и скатываніе происходитъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ круче наклонена доска относительно горизонтальной поверхности стола. Мы замѣтимъ также, что всякій разъ движеніе внизъ становится все быстрѣе и быстрѣе, т. е. что движеніе это ускоренное.



Фиг. 195.

То же самое явленіе мы наблюдаемъ безчисленное множество разъ и въ повседневной жизни. Такъ напримѣръ, ручка скатывается съ наклонной поверхности конторки; мячъ не остается въ состояніи покоя на покатой землѣ, а скатывается внизъ; точно также скатывается шаръ по деревянному желобу кегельбана. Салазки мальчика съ возрастающей быстротой скользятъ внизъ по склону, покрытому снѣгомъ. Капли дождя стекаютъ внизъ по наклонной поверхности крыши и т. д.

в) Такого рода движеніе внизъ происходитъ на каждой плоскости, наклоненной относительно горизонтальнаго направленія, или говоря иначе — на всякой **наклонной плоскости**. Причину этого движенія, очевидно, можно искать только въ силѣ тяжести. Для болѣе точнаго изученія этого движенія представимъ себѣ наклонную плоскость, расположенную перпендикулярно къ плоскости рисунка и пересѣкающую послѣднюю по линіи *MN* (фиг. 195*b*). Затѣмъ, черезъ точку *M*, находящуюся въ самомъ низу прямой *MN*, проведемъ горизонтальную прямую, а черезъ верхнюю точку *N* — вертикальную прямую. Такимъ образомъ мы получимъ прямоугольный треугольникъ *MNO*, въ которомъ *MN* называется длиной, *MO* — основаніемъ, а *NO* — высотой наклонной плоскости, наконецъ, уголъ между основаніемъ и длиной — угломъ наклоненія наклонной плоскости. Сокращенно длину линій *MN*, *MO* и *NO* можно обозначать черезъ *l*, *b* и *h*.

Какъ мы уже указывали, движеніе внизъ тѣла, напр. шара, центръ котораго находится въ A, а вѣсъ $(G) = 500$ гр, вызывается вѣсомъ тѣла. Но такъ какъ направленіе движенія центра шара совпадаетъ не съ направленіемъ Az, по которому дѣйствуетъ вѣсъ (G), а съ линіей Ax, параллельной MN, то мы разложимъ, согласно § 127, силу $(G) = AE$ на двѣ слагающія, изъ которыхъ одной дадимъ направленіе Ax, а другую направимъ по Ay перпендикулярно къ Ax, слѣдовательно, перпендикулярно и къ MN. Построеніе параллелограма силъ, превращающагося здѣсь въ прямоугольникъ силъ (почему?), дастъ намъ линіи AB и AC, выражающія величины обѣихъ слагающихъ. Какое же дѣйствіе произведутъ обѣ эти слагающія? Одна изъ нихъ AC проявится, очевидно, только въ видѣ давленія на наклонную плоскость. Назовемъ ее поэтому давящей слагающей (D). При достаточной прочности наклонной плоскости эта слагающая не вызоветъ никакого движенія; поэтому пока не будемъ ее разсматривать. Наоборотъ, другая слагающая AB, дѣйствіе которой не встрѣчаетъ препятствій, вызоветъ движеніе тѣла внизъ по направленію Ax; поэтому эту слагающую можно назвать движущей слагающей (T). Если мы сдѣлаемъ такое разложеніе силъ для различныхъ положеній шара между точками M и N, то вездѣ получимъ такой же параллелограмъ, а значитъ и туже самую движущую слагающую T. Такимъ образомъ, при своемъ движеніи внизъ отъ N къ M тѣло подвергается **непрерывному** дѣйствію силы T, обладающей неизмѣнной величиной. Поэтому вызванное этой силой движеніе вдоль наклонной плоскости должно быть, согласно § 121, равномѣрно ускореннымъ движеніемъ. Но такъ какъ AB всегда меньше AE (катетъ меньше гипотенузы), то движущая слагающая (T) представляетъ всегда только нѣкоторую часть всего вѣса; а между тѣмъ она должна приводить въ движеніе всю массу движущагося внизъ тѣла, а потому она можетъ сообщить этой массѣ меньшее ускореніе, чѣмъ то, которое пріобрѣла бы таже самая масса при свободномъ паденіи отъ дѣйствія всего вѣса (G) (§ 119). Слѣдовательно, движеніе тѣла внизъ вдоль наклонной плоскости совершается медленнѣе, чѣмъ при свободномъ паденіи.

Если одновременно одинъ шарикъ пустить катиться вдоль NM, а другому дать свободно падать по NO, то первому потребуется гораздо больше

времени, чтобы пройти NM, чѣмъ второму для паденія по NO. Время, которое нужно шарику, чтобы скатиться внизъ, тѣмъ больше, чѣмъ меньше уголъ наклоненія α наклонной плоскости.

Сдѣлайте построеніе, изображенное на фиг. 195*b*, для того же самаго шара вѣсомъ въ 500 гр три раза такъ, чтобы уголъ наклоненія α былъ равенъ 30°, 45° и 60°! Сравните отношенія величинъ T и D во всѣхъ трехъ построеніяхъ! Что можно вывести изъ этихъ чертежей?

г) Уголъ MNO равенъ углу xAz, такъ какъ это углы съ параллельными сторонами, обращенные въ одну сторону, а уголъ MON равенъ xAy (оба прямые), то $\triangle ABE \infty \triangle NOM$, и, значитъ, $AB : AE = ON : MN$; подставивъ въ эту пропорцію вышеприведенныя сокращенныя обозначенія величинъ, получимъ $(T) : (G) = h : l$, откуда затѣмъ опредѣляемъ $(T) = (G) \cdot \frac{h}{l}$.

Итакъ, чтобы найти величину движущей слагающей, нужно вѣсъ тѣла умножить на частное отъ дѣленія высоты на длину, на такъ называемый уклонъ наклонной плоскости.

Выраженіе уклонъ употребляется и въ практикѣ; если, напр., говорятъ, что уклонъ горной желѣзной дороги въ наиболѣе крутомъ мѣстѣ 1 : 40, то это значитъ, что желѣзная дорога здѣсь на каждыхъ 40 м длины поднимается на 1 м въ высоту. Постройте въ уменьшенномъ масштабѣ этотъ уклонъ, а также наибольшій уклонъ дороги на Шнейбергъ 1 : 5 и на Пилатъ 1 : 2!

Задачи: **1.** Галилей первый понялъ, что движеніе по наклонной плоскости представляетъ собой паденіе, направленное по опредѣленному прямолинейному пути; исходя изъ этого, онъ впервые доказалъ посредствомъ опыта законы паденія при помощи особыхъ наклонныхъ желобовъ. Если такой желобъ имѣетъ уклонъ 1 : 50, то чему будетъ равно ускореніе? Чему равно пространство, пройденное въ теченіе 1, 2, 3... секундъ? **2.** Чему равна движущая слагающая сила тяжести для товарнаго поѣзда съ общимъ вѣсомъ въ 450 тоннъ (тонна = 61 пуд.), стоящаго на участкѣ пути съ уклономъ 1 : 40? **3.** При какомъ углѣ наклоненія уклонъ равенъ 1 : 2? Чему равно въ этомъ случаѣ ускореніе? **4.** Въ наклонной плоскости $h = 5$ м, $l = 10$ м. Сколько времени тѣло будетъ катиться вдоль l, сколько времени потребуется на свободное паденіе тѣла по h? Чему равна конечная скорость, съ которой въ каждомъ изъ этихъ случаевъ тѣло достигнетъ основанія? **5.** Объясните, почему шары изъ различнаго матерьяла и разнаго вѣса скатываются съ наклонной плоскости одинаково быстро! Съ какимъ уже извѣстнымъ закономъ связанъ этотъ фактъ.

129. **Треніе. Препятствія движенію.** *а*) Если въ описанномъ въ началѣ § 128 опытѣ придадимъ наклонной плоскости очень маленькій уголъ наклоненія по отношенію къ горизонтальному направленію, то мы увидимъ, что гирька, не имѣющая гладкаго основанія, не будетъ скользить внизъ по наклонной плоскости, а останется на ней въ состояніи покоя. Только тогда, когда уголъ наклоненія достигнетъ извѣстной ве-

личины, гирька начнетъ скользить внизъ. Если на основаніе одной изъ двухъ одинаковаго вѣса гирь мы наклеимъ кусокъ шероховатой наждачной бумаги, то для этой гири уголъ наклоненія, при которомъ гиря начнетъ скользить внизъ, будетъ еще больше. Если тотъ же опытъ повторить съ шаромъ, то оказывается, что онъ начинаетъ катиться уже при самомъ ничтожномъ наклоненіи доски. Указанныя явленія объясняются слѣдующимъ образомъ. Всякое тѣло, какъ бы тщательно ни было оно отполировано, всегда имѣетъ на своей поверхности возвышенія и углубленія. Чѣмъ больше имѣется такихъ неровностей, тѣмъ болѣе шероховатымъ представляется тѣло. При движеніи тѣла по поддерживающей его поверхности его возвышенія попадаютъ въ углубленія поверхности и наоборотъ. Если тѣло катится по поверхности, то эти возвышенія должны высвобождаться изъ углубленій, на что тратится часть движущей силы. Если тѣло толкаютъ или тянутъ по подставкѣ, то неровности должны отгибаться или отрываться, на что затрачивается еще больше силы.

Препятствіе, возникающее для движенія вслѣдствіе шероховатости соприкасающихся поверхностей, называется **треніемъ**. Мы различаемъ треніе при движеніи катящагося и при движеніи скользящаго тѣла.

Отъ чего зависитъ величина тренія? Для какихъ тѣлъ больше треніе — для твердыхъ или мягкихъ, для тяжелыхъ или легкихъ? При прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, когда сильнѣе треніе — при движеніи скользящаго тѣла или при движеніи катящагося? Треніе уменьшается отъ приданія большей гладкости соприкасающимся поверхностямъ, отъ примѣненія смазочныхъ матерьяловъ (мыла, маселъ, свинного сала, графита и т. п.), а также вслѣдствіе превращенія скользящаго движенія въ катящееся.

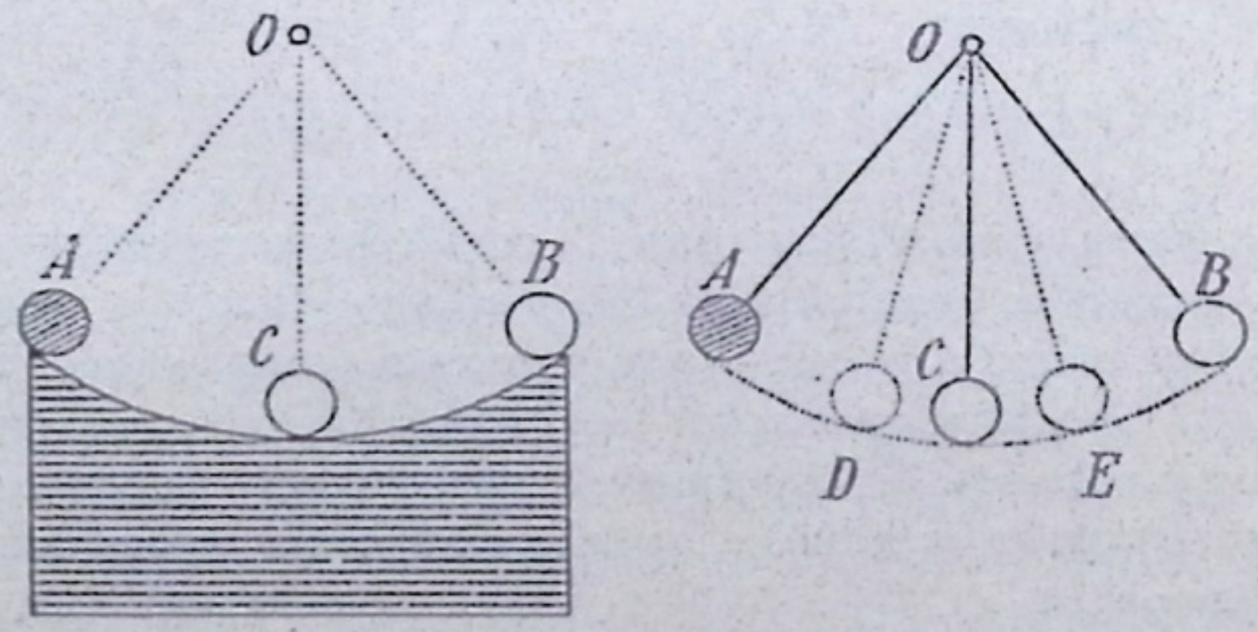
Какъ бы вредно ни было во многихъ случаяхъ дѣйствіе тренія, однако оно приноситъ намъ и много пользы. Безъ тренія мы не могли бы ни стоять, ни ходить; уже на гладкомъ мраморномъ полу или на поверхности льда, гдѣ еще далеко нельзя считать треніе не существующимъ, походка наша дѣлается неувѣренной; безъ тренія ѣзда по обыкновеннымъ дорогамъ и рельсовымъ путямъ также была бы невозможной; мы не могли бы ни держать что-либо крѣпко, ни связывать, ни шить, ни прибивать гвоздями и т. д. Зачѣмъ при гололедицѣ дорогу посыпаютъ пескомъ? Какого рода треніе происходитъ *а*) во втулкѣ колеса экипажа, *б*) на ободѣ этого колеса? Какъ измѣняется треніе при примѣненіи тормаза? Почему лѣтомъ грузы возятъ на телѣгахъ, а зимой на саняхъ? Какая телѣга — легко или тяжело нагруженная — испытываетъ при ѣздѣ большее треніе? Насколько треніе зависитъ отъ вѣса двигающагося по подставкѣ тѣла? Какое преимущество представляютъ рельсовые пути, напр. рельсы конки, передъ обыкновенными дорогами? Первые рельсовые пути были устроены для конной тяги. Первой желѣзной дорогой въ Европѣ была конножелѣзная дорога, построенная въ 1825 г.

между Линцемъ и Будвейсомъ. Какую роль играетъ треніе между колесами паровоза и рельсами? Почему паровозы дѣлаются такого огромнаго вѣса (30 — 50 тоннъ = около 1830 — 3050 пуд. и свыше)? Для какой цѣли устраиваются въ поѣздѣ тормаза? Почему при паровозахъ устраиваютъ песочницы, примѣняемыя зимой при сырой туманной погодѣ, особенно при отходѣ со станціи.

б) На ряду съ треніемъ **препятствіемъ движенію** служитъ **сопротивленіе среды**. Мы уже познакомились съ послѣднимъ при разсмотрѣніи движенія тѣлъ въ воздухѣ, при чемъ назвали его сопротивленіемъ воздуха (§ 120). Подобное же сопротивленіе встрѣчаетъ тѣло при движеніи въ водѣ. Причиной сопротивленія среды является непроницаемость вещества, въ которомъ движутся тѣла. Это сопротивленіе тѣлъ тѣмъ больше, чѣмъ плотнѣе среда, чѣмъ больше раздвигающая среду поверхность тѣла и чѣмъ больше скорость послѣдняго.

Почему раскрытый зонтикъ падаетъ медленнѣе, чѣмъ сложенный? (Парашютъ). Что больше, при равенствѣ прочихъ условій — сопротивленіе движенію въ воздухѣ или въ водѣ? Почему? Зачѣмъ передняя часть судна заостряется? Представляетъ ли форма тѣла птицъ и рыбъ какія-либо выгоды для ихъ движенія въ воздухѣ и водѣ? Если движущіяся другъ по другу тѣла имѣютъ слишкомъ гладкія поверхности, то возникаетъ новое препятствіе. Какое?

130. **Движеніе маятника.** *а*) Возьмемъ доску, имѣющую сверху круглую вырѣзку, вдоль которой сдѣланъ желобокъ (фиг. 196 *а*). Вложимъ въ желобокъ маленькій шарикъ. Если мы пустимъ послѣдній изъ точки *A*, то онъ начнетъ съ возрастающей скоростью (слѣдовательно, ускоренно) катиться отъ *A* до наинизшей точки *C* желобка. Здѣсь онъ не остановится, но покатится съ уменьшающейся скоростью (слѣдовательно, замедленно) дальше до *B*. Въ этой точкѣ направленіе движенія шарика измѣнится на обратное и шарикъ покатится отъ *B* къ *A* черезъ *C*, оттуда снова до *B* и т. д. На передвиженіе въ ту и другую сторону шарику требуется каждый разъ одно и то же время. Однако, вслѣдствіе тренія шарикъ начинаетъ подниматься все до меньшей и меньшей высоты, пока наконецъ не остановится въ *C*.



Фиг. 196.

Очевидно, что и это движеніе производится силой тяжести, оно представляетъ собою паденіе не свободное, а происходящее по опредѣленному пути, представляющему дугу круга.

Но такое же движеніе мы получимъ, если привяжемъ къ шарику нитку, длина которой равна радіусу AO дуги круга (фиг. 196 *a*), и эту нитку прикрѣпимъ въ точкѣ O (фиг. 196 *b*). Если мы полученный такимъ образомъ отвѣсъ выведемъ изъ вертикальнаго положенія OC, при которомъ онъ находится въ состояніи покоя, доведемъ до положенія AO и затѣмъ пустимъ его, то шарикъ начнетъ совершать движеніе, подобное тому, какое происходило въ желобкѣ. Но такъ какъ здѣсь уже нѣтъ препятствія движенію со стороны тренія о поверхность желобка, то движеніе совершается гораздо дольше, чѣмъ въ первомъ случаѣ. Однако и здѣсь — очевидно вслѣдствіе сопротивленія воздуха, а также тренія о точку привѣса — спустя нѣкоторое время шарикъ останавливается.

Подобный описанному приборъ, состоящій изъ очень легкой нити съ прикрѣпленнымъ къ ней маленькимъ, но возможно болѣе тяжелымъ шарикомъ, называется простымъ маятникомъ или короче, просто маятникомъ; вышеописанное движеніе, происходящее въ ту и другую сторону (колебательное), называется **движеніемъ маятника**.

Движеніе маятника можно легко свести къ движенію вдоль наклонной плоскости. Можно представить себѣ, что отъ A до C шарикъ маятника какъ бы скользитъ внизъ по цѣлому ряду переходящихъ одна въ другую наклонныхъ плоскостей, уголъ наклоненія которыхъ постоянно уменьшается отъ A къ C. Слагающая, создающая движеніе, не сохраняетъ поэтому все время одну и ту же величину, какъ это мы видѣли при движеніи по всей длинѣ одной наклонной плоскости, а все больше и больше уменьшается. Результатомъ этого уменьшенія является неравномѣрно ускоренное движеніе отъ A до C. Слагающая-же, производящая давленіе и, какъ видимъ, здѣсь вызывающая натяженіе нити маятника, наоборотъ, непрерывно увеличивается отъ A къ C. Въ состояніи покоя движущая слагающая въ C равна нулю; напротивъ, слагающая, производящая натяженіе нити, равна полному вѣсу тѣла маятника. Шарикъ маятника въ этомъ мѣстѣ достигаетъ наибольшей скорости; вслѣдствіе инерціи онъ долженъ бы продолжать движеніе отъ C съ той же скоростью по прямой линіи (въ горизонтальномъ направленіи). Однако, вслѣдствіе прочности нити шарикъ вынужденъ подниматься отъ C къ B по второму ряду наклонныхъ плоскостей. Но теперь этому движенію противодѣйствуетъ замедляющая слагающая силы тяжести, которая въ каждой точкѣ,

напр. E, имѣетъ, очевидно, какъ разъ ту самую величину, которую имѣла въ симметрично лежащей точкѣ D слагающая, вызывающая движеніе. Слѣдовательно, то увеличеніе скорости, которое было пріобрѣтено шарикомъ маятника при неравномѣрно ускоренномъ движеніи отъ A до C, теперь шарикъ маятника начинаетъ въ обратной послѣдовательности терять при движеніи отъ C къ B, пока наконецъ въ точкѣ B не истощится весь пріобрѣтенный запасъ скорости; отъ этой точки снова начинается движеніе внизъ въ обратную сторону и т. д.

Сравните съ этимъ слѣдующее. Нѣкто каждый день одной недѣли откладываетъ въ копилку все уменьшающіяся суммы. Въ концѣ недѣли въ копилкѣ скопляется извѣстная сумма. Въ дни слѣдующей недѣли онъ беретъ изъ копилки отложенныя за прошлую недѣлю суммы только въ обратной послѣдовательности (т. е. все увеличивающіяся суммы). При этомъ въ концѣ второй недѣли въ копилкѣ не останется ничего.

б) AO называется длиной маятника, движеніе отъ A черезъ C до B или, наоборотъ, движеніе отъ B черезъ C до A называется колебаніемъ, а необходимое для такого движенія время — продолжительностью или временемъ колебанія. Маятникъ, время колебанія котораго равно 1 секундѣ, называется секундным маятникомъ. Уголъ, образуемый маятникомъ съ вертикальной линіей, постоянно измѣняющійся во время движенія маятника (напр. уголъ DOC) носитъ названіе угла отклоненія маятника. Наибольшій уголъ (AOC. BOC), образуемый колеблющимся маятникомъ съ вертикальной линіей, называется амплитудой колебанія маятника (полуразмахъ).

в) Заставимъ одновременно колебаться нѣсколько маятниковъ равной длины, но съ шариками изъ различныхъ веществъ, напр. желѣза, мѣла, дерева и пр. Всѣ они будутъ имѣть одну и ту же продолжительность колебанія. Это служитъ еще новымъ доказательствомъ, что всѣ тѣла въ одномъ и томъ же мѣстѣ земного шара падаютъ съ одной и той же скоростью (ср. §§ 119 и 120).

Насколько вліяетъ здѣсь сопротивленіе воздуха?

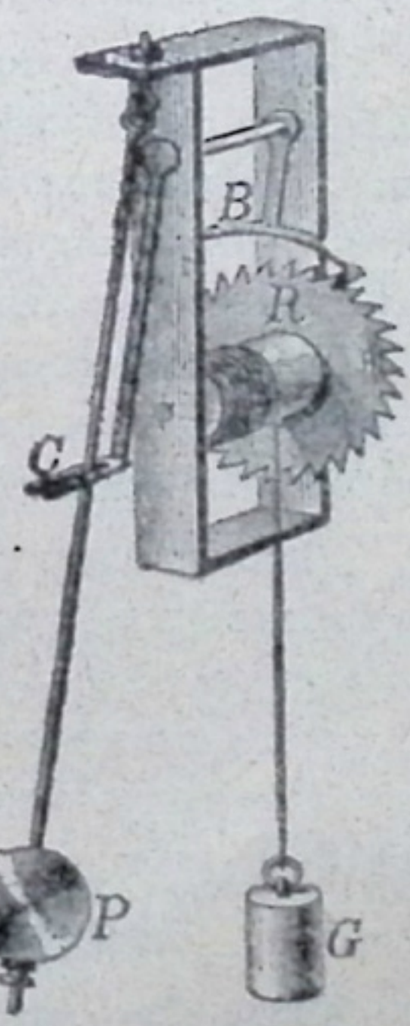
Выведемъ маятникъ изъ состоянія равновѣсія, отклонивши на небольшой уголъ, пустимъ его и сосчитаемъ его колебанія въ теченіе приблизительно $^1/_2$ минуты. Затѣмъ, снова выведемъ маятникъ изъ состоянія равновѣсія, но уже отклонимъ на меньшій уголъ, чѣмъ раньше, и опять сосчитаемъ его колебанія въ теченіе $^1/_2$ минуты. Въ обоихъ случаяхъ число колебаній будетъ одно и то же. Мы можемъ повторить опытъ съ какимъ угодно маятникомъ и получимъ тотъ же результатъ; не надо только отводить маятникъ

слишкомъ далеко отъ положенія равновѣсія. Продолжительность колебанія не зависитъ, слѣдовательно, отъ амплитуды колебанія, если только послѣдняя равна лишь небольшому числу градусовъ. Вслѣдствіе этого можно пользоваться маятникомъ для измѣренія времени.

Изготовимъ себѣ три маятника длиною въ 11 цт, въ 44 цт и въ 99 цт; эти длины будутъ относиться другъ къ другу какъ 1 : 4 : 9. Заставимъ маятники колебаться и опредѣлимъ число этихъ колебаній въ 1 минуту. Самый короткій маятникъ сдѣлаетъ 180 колебаній, средній — 90, а самый длинный — 60. Такимъ образомъ, продолжительность колебанія самаго короткаго равна $^1/_3$ секунды, средняго $^2/_3$ секунды и самаго длиннаго — 1 секунда *). Значитъ, времена колебаній этихъ трехъ маятниковъ, отношеніе длинъ которыхъ равно 1 : 4 : 9, относятся, какъ $\sqrt{1} : \sqrt{4} : \sqrt{9} = 1 : 2 : 3$.

Задачи: 1. Зная, что длина секуднаго маятника (съ округленіемъ) равна 1 м, опредѣлить, какой длины долженъ быть маятникъ, одно колебаніе котораго требуетъ 2, 3, 4, 5 секундъ? 2. Сколько приблизительно секундъ потребуется для одного колебанія маятника, длина котораго равна высотѣ Кельнскаго собора (157 м), Эйфелевой башни (300 м), Шнейберга (2075 м), Монблана (4810 м), Гауризанкара (8840 м)?

Наиболѣе важное значеніе имѣетъ примѣненіе маятника въ **часахъ (въ часахъ съ маятникомъ)**. Главныя составныя части такихъ часовъ слѣдующія: 1) маятникъ *P* (фиг. 197); 2) валъ съ зубчатымъ колесомъ *R*, 3) якорь или анкерный зацѣпъ *B*, 4) гиря *G*, 5) стрѣлки и циферблатъ. Маятникъ состоитъ обыкновенно изъ тонкой легкой пластинки, или стержня, на который внизу насаживается подвижный тяжелый металлическій кружокъ (чечевица). Гиря *G*, если бы она не была соединена съ маятникомъ, должна бы свободно падать, а слѣдовательно, двигаться равномѣрно ускоренно. Чтобы устранить ускоренный характеръ движенія, движеніе гири регулируется маятникомъ. Движенія послѣдняго передаются вилкѣ *C*, охватывающей стержень, а отъ вилки оси, къ которой прикрѣпленъ также якорь *B*. Благодаря этому, при каждомъ колебаніи маятника якорь цѣпляется за зубчатое колесо и этимъ задерживаетъ движеніе гири на правильные интервалы. Съ другой стороны и маятникъ постоянно получаетъ толчки отъ гири, движеніе

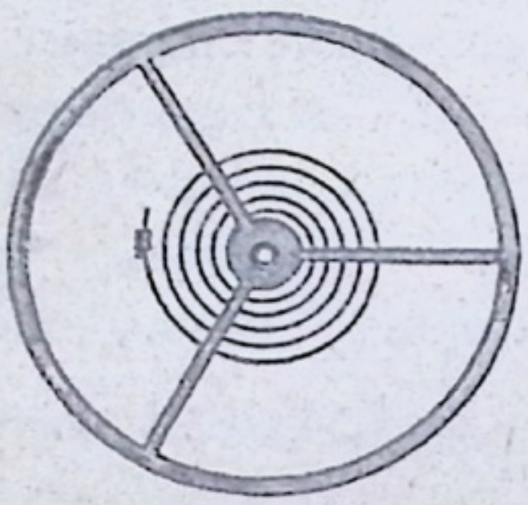


Фиг. 197.

*) Точнѣе длина секуднаго маятника для Петербурга не 99 цт, а 99,492 цт. (Прим. перев.)

которой указаннымъ способомъ превращено въ равномѣрное. Вслѣдствіе передачи движенія маятника системѣ зубчатыхъ колесъ, связанной со стрѣлками, послѣднія приводятся въ движеніе (также равномѣрное). Такимъ образомъ, маятникъ представляетъ собой въ часахъ регуляторъ, гиря же является силой вызывающей движеніе.

Вмѣсто падающей гири въ нѣкоторыхъ часахъ примѣняется спирально-свернутая пружина (часовая пружина); такіе часы называются пружинными въ отличіе отъ часовъ съ гирей. Регулированье хода карманныхъ часовъ и нѣкоторыхъ не висячихъ, а стоячихъ часовъ (будильниковъ, каретныхъ, судовыхъ часовъ) производится посредствомъ длинной, спирально свернутой, узкой стальной пружинки (волоска), одинъ конецъ которой прикрѣпленъ къ центральной части небольшого легкаго махового колеса (фиг. 198), называемаго также маятникомъ, а другой къ непринимающей участія въ общемъ вращеніи части механизма.



Фиг. 198.

Законы движенія маятника изложены были впервые Галилеемъ въ 1602 г.; голландецъ Гюйгенсъ сдѣлалъ въ 1656 г. первые часы съ маятникомъ. Карманные часы были изобрѣтены въ 1500 г. Петеромъ Генлейномъ въ Нюрнбергѣ («нюрнбергскія яички»); регулированье же хода часовъ посредствомъ спиральной пружинки (волоска) было изобрѣтено также голландцемъ Гюйгенсомъ.

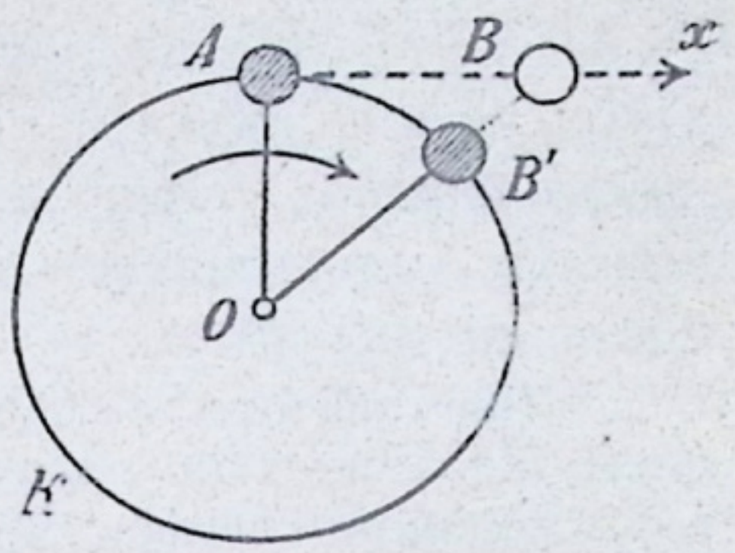
При болѣе низкой температурѣ стержень маятника укорачивается, а при болѣе высокой удлиняется; если этотъ стержень сдѣлать изъ очень хорошо высушеннаго и покрытаго густымъ слоемъ лака дерева, то измѣненія длины становятся нечувствительными.

Многочисленные опыты показали, что маятникъ на высокихъ горахъ колеблется медленнѣе, чѣмъ въ болѣе низкихъ мѣстахъ. Найдено также, что маятникъ колеблется тѣмъ быстрѣе, чѣмъ дальше мѣсто, гдѣ онъ находится, отстоитъ отъ экватора къ югу или къ сѣверу. Эти опыты доказываютъ, что притягательная сила земли уменьшается тѣмъ больше, чѣмъ больше мы удаляемся отъ центра земли. Какъ поднявшись на высокую гору, такъ и приблизившись къ экватору, мы оказываемся дальше отъ центра земли (во второмъ случаѣ вслѣдствіе сжатія земного шара у полюсовъ) (ср. также § 131).

Итакъ, одинаковую ли длину имѣетъ секундный маятникъ на различныхъ географическихъ широтахъ? Гдѣ длина эта наибольшая и гдѣ наименьшая? Что замѣтили бы мы, если бы проѣхали, имѣя съ собой секундный маятникъ, изъ С.-Петербурга къ экватору, а затѣмъ на крайній сѣверъ? (Открытіе этого факта было сдѣлано французскимъ астрономомъ Рише въ 1672 г. во время путешествія изъ Парижа въ Кайэну и обратно).

131. **Центробѣжная сила.** *а*) Возьмемъ маятникъ, состоящій изъ нити съ привязаннымъ къ ней свинцовымъ шарикомъ (или камнемъ), будемъ, держа за свободный конецъ нити, раскачивать его такъ сильно, что шарикъ начнетъ вращаться по кругу K (фиг. 199); центромъ круга O будетъ наша рука, а радіусомъ—

нить *OA*. При этомъ мы явственно ощутимъ, что тѣло маятника производитъ на нить дѣйствіе силы тяги, направленной кнаружи, которую мы называемъ **центробѣжной силой** (т. е. силой, заставляющей бѣжать, удаляться отъ центра). Эта сила тяги усиливается, когда камень начинаетъ быстрѣе вращаться по кругу. Она можетъ при этомъ возрасти настолько, что разорветъ нить, въ этотъ моментъ камень полетитъ однако не по тому направленію, по которому передъ тѣмъ дѣйствовала сила тяги, т. е. не по направленію радіуса, а по направленію касательной *Ax*. На этомъ было основано устройство употреблявшейся въ древности пращи.



Фиг. 199.

Эти явленія объясняются закономъ инерціи (§ 6). Если тѣло въ точкѣ *A* обладаетъ нѣкоторой скоростью, то, согласно закону инерціи, оно стремится продолжать движеніе съ той же скоростью по прямой линіи въ направленіи касательной *Ax*, причемъ черезъ нѣкоторое время оно должно будетъ попасть въ точку *B*. Но прочность нити заставляетъ тѣло вмѣсто точки *B* попасть въ лежащую на окружности точку *B'*; поэтому тѣло не можетъ осуществить свое стремленіе достигнуть *B*; однако это стремленіе проявляется въ формѣ тяги, направленной отъ *B'* къ *B*; тяга эта и есть центробѣжная сила. Если прочность нити достаточна для уравновѣшиванья центробѣжной силы, то тѣло движется по своей окружности. Если же центробѣжная сила настолько сильна, что разрываетъ нить, то тѣло можетъ послѣдовать своему стремленію двигаться дальше прямолинейно; поэтому оно начинаетъ двигаться въ томъ направленіи, въ которомъ оно двигалось въ моментъ разрыва нити, т. е. въ направленіи касательной.

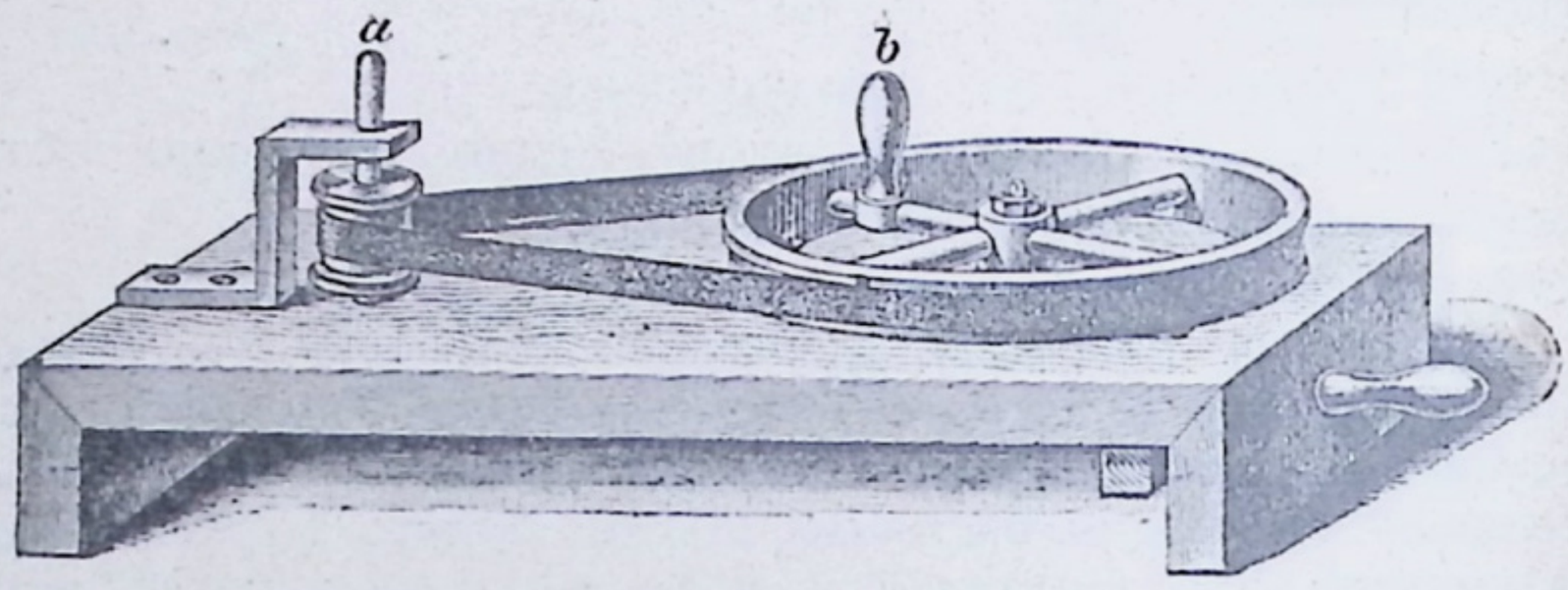
Изъ сказаннаго видно, что центробѣжная сила можетъ появляться только при криволинейныхъ движеніяхъ или при вращеніи тѣла, при которомъ каждая точка тѣла описываетъ кругъ и, значитъ, совершаетъ криволинейное движеніе.

Относящіяся сюда явленія: быстрый бѣгъ по кругу, особенно быстрое вращеніе по кругу, верховая ѣзда по кругу, повороты при быстрой ѣздѣ вагоновъ конки, велосипедовъ и пр., разбрасыванье частицъ грязи съ быстро катящихся колесъ экипажа, болѣе высокое положеніе наружнаго рельса на желѣзнодорожныхъ закругленіяхъ и т. д.

б) Если мы сдѣлаемъ чертежъ, изображенный на фиг. 199, для различныхъ случаевъ, то мы увидимъ, что центробѣжная сила должна быть тѣмъ больше, чѣмъ больше происходящее въ то же время отклоненіе тѣла отъ прямоли-

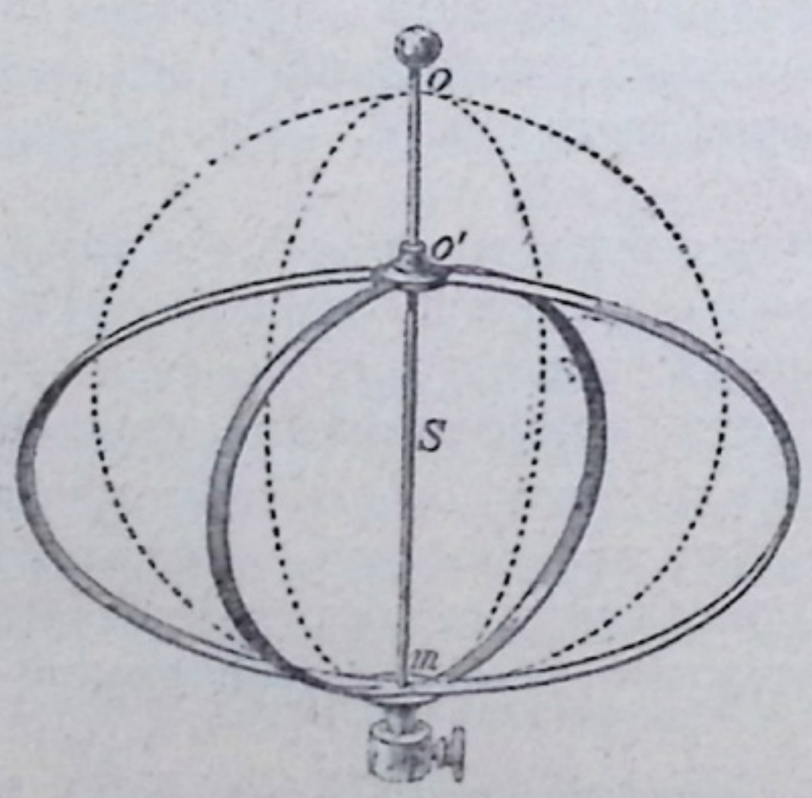
нейнаго пути; поэтому центробѣжная сила для одной и той же окружности должна увеличиваться съ возрастаніемъ скорости, напротивъ, при неизмѣнной скорости она должна быть тѣмъ больше, чѣмъ больше кривизна круга, т. е. чѣмъ этотъ кругъ меньше; наконецъ, центробѣжная сила должна возрастать съ увеличеніемъ массы движущагося тѣла, такъ какъ большія массы обладаютъ большей инерціей.

Для опытовъ съ центробѣжной силой пользуются такъ называемой центробѣжной машиной (фиг. 200). Она состоитъ изъ большого горизонтально расположеннаго колеса, которое съ



Фиг. 200.

помощью рукоятки b можетъ быть приведено во вращательное движеніе. Послѣднее съ помощью туго натянутаго ремня или шнура (приводного, передаточнаго ремня) передается гораздо меньшему ролику, насаженному на выдающуюся вертикальную ось a, на которую при опытахъ насаживаются необходимые приборы. Вращеніе маленькаго ролика вслѣдствіе его меньшей окружности должно быть, конечно, гораздо быстрѣе, чѣмъ большого колеса, съ которымъ онъ связанъ туго натянутымъ передаточнымъ ремнемъ. (Играетъ ли здѣсь роль треніе)?



Фиг. 201.

Если укрѣпимъ на оси S двѣ кольцеобразныя эластичныя, латунныя полоски (фиг. 201), просверленныя наверху (въ точкѣ o) и могущія сгибаться вдоль оси S, и приведемъ машину во вращеніе, то круглыя кольца будутъ сплющиваться тѣмъ сильнѣе, чѣмъ быстрѣе происходитъ вращеніе. Болѣе отдаленныя отъ оси S части колецъ пріобрѣтаютъ при этомъ вращеніи большую скорость, чѣмъ болѣе близкія, и вмѣстѣ съ тѣмъ на

нихъ дѣйствуетъ большая центробѣжная сила, чѣмъ на послѣднія; вслѣдствіе этого происходитъ сплющиваніе (сжатіе по направленію оси *ом*) латунныхъ полосокъ.

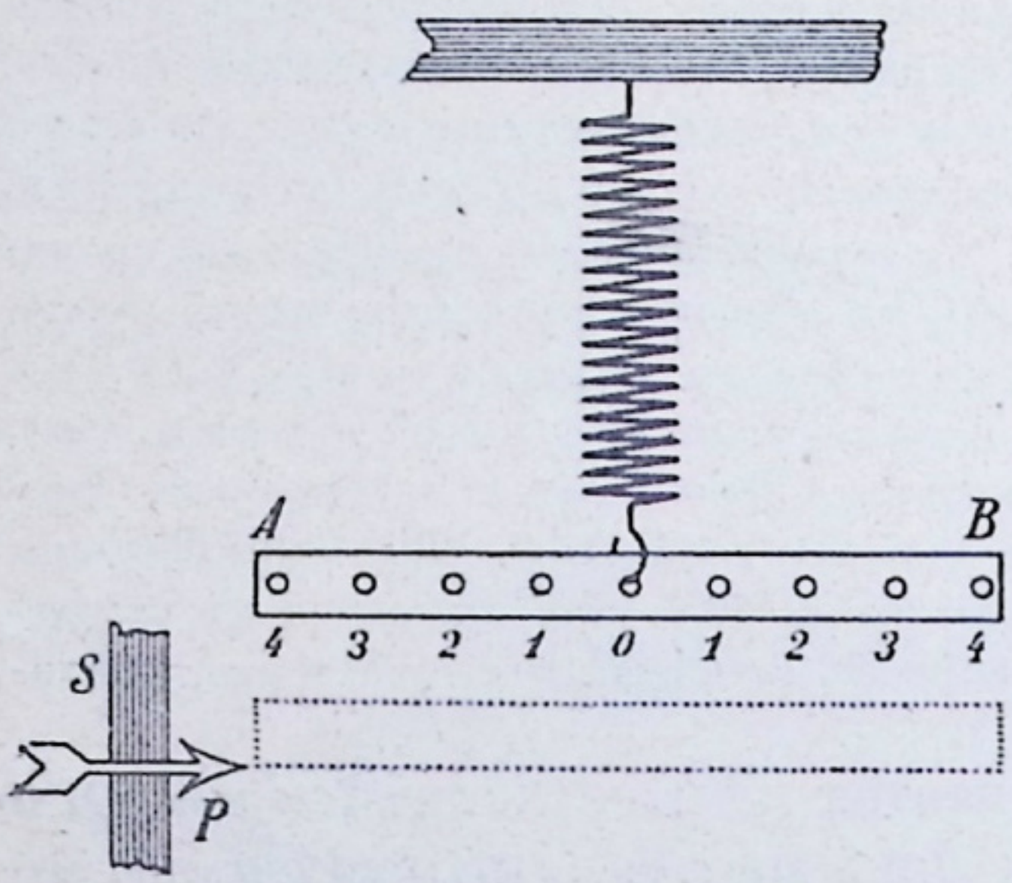
Этотъ опытъ объясняетъ также сжатіе земного шара у полюсовъ; раньше земной шаръ находился въ болѣе размягченномъ состояніи, чѣмъ въ настоящее время, и потому вслѣдствіе вращенія вокругъ оси принялъ форму сплющеннаго по направленію этой оси шара (сфероида). Благодаря центробѣжной силѣ, развивающейся при вращеніи земли вокругъ оси, уменьшается сила тяжести и вмѣстѣ съ тѣмъ также производимое послѣдней ускореніе при паденіи. Наибольшей величины центробѣжная сила достигаетъ на экваторѣ, по направленію къ полюсамъ она уменьшается и на самыхъ полюсахъ равна нулю. (Почему?). Поэтому вѣсъ тѣла наименьшую величину имѣетъ на экваторѣ, возрастаетъ по направленію къ полюсамъ, гдѣ достигаетъ наибольшей величины. Точно также и вслѣдствіе сжатой у полюсовъ формы земли вѣсъ тѣла долженъ возрастать при передвиженіи отъ экватора къ полюсамъ, такъ какъ при этомъ тѣло приближается къ центру земли. Такимъ образомъ обѣ причины, центробѣжная сила и сжатіе земли, усиливаютъ другъ друга.

132. **Движеніе около даннаго центра**. Луна движется вокругъ земли почти по круговому пути; движеніе ея, слѣдовательно, не можетъ происходить только по закону инерціи, такъ какъ въ этомъ случаѣ оно было бы прямолинейнымъ. Поэтому мы должны допустить, что какая-то, направленная къ центру земли, сила постоянно отклоняетъ луну отъ того прямолинейнаго направленія, по которому двигалась бы луна вслѣдствіе инерціи. Такимъ образомъ вокругъ земли, какъ центра, происходитъ криволинейное движеніе луны, называемое движеніемъ около даннаго центра (центральнымъ движеніемъ). Подобныя же движенія совершаетъ и земля и такъ называемыя планеты вокругъ солнца, какъ центра.

Ньютонъ (въ 1686 г.) первый высказалъ, что сила, съ которой дѣйствуетъ земля на луну, есть не что иное, какъ сила тяжести. (Разсказъ о падающемъ яблокѣ). Онъ понялъ, что паденіе тѣлъ на землю есть лишь частный случай всеобщаго притяженія массъ (**тяготѣнія**), дѣйствующаго также между небесными тѣлами (напр. между солнцемъ и планетами).

Движеніе, подобное движенію около даннаго центра, можно произвести, если маятникъ на довольно длинной нити вывести изъ состоянія равновѣсія и сообщить ему толчокъ по направленію, пересѣкающему подъ нѣкоторымъ угломъ вертикальную плоскость, которую можно провести черезъ маятникъ. Что замѣняетъ въ этомъ случаѣ силу тяготѣнія? Насколько также движеніе горизонтально или наклонно къ горизонту брошеннаго тѣла является движеніемъ около даннаго центра? Что произошло бы съ этими движеніями, если бы мы стали непрерывно увеличивать скорость брошенныхъ тѣлъ? Изученіе движенія около даннаго центра приводитъ насъ къ правильному объясненію видимаго годового движенія солнца.

133. **Сложеніе параллельныхъ силъ, направленныхъ въ одну сторону.** Легкая, имѣющая вездѣ одинаковую толщину, деревянная пластинка AB (фиг. 202), раздѣленная на нѣсколько равныхъ частей (на фиг. для простоты изображены лишь 8 дѣленій) подвѣшивается при помощи проволочнаго крючка за средину къ довольно сильной и длинной спиральной пружинѣ. Затѣмъ, по обѣ стороны отъ точки привѣса на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ средины (напр. въ точкахъ *3*) прикрѣпляютъ съ помощью тонкой проволочки, продѣваемой въ имѣющіяся на пластинкѣ отверстія, 2 гири равнаго вѣса (напр. по 50 **гр**). Спираль удлиняется, пластинка, оставаясь параллельной самой себѣ, опускается внизъ и останавливается въ положеніи, начерченномъ на фиг. 202 пунктиромъ.



Фиг. 202.

Мы отмѣчаемъ себѣ это положеніе посредствомъ стрѣлки P изъ проволоки или картона, прикрѣпляемой къ вертикальной колонкѣ S деревяннаго штатива. Затѣмъ мы снимаемъ съ пластинки обѣ гири, послѣ чего она скоро возвращается къ своему первоначальному положенію. Если теперь мы подвѣсимъ къ серединѣ пластинки (у 0) грузъ равный 50 **гр** + 50 **гр** = 100 **гр**, то пластинка опустится ровно на столько-же, какъ и раньше, а именно до стрѣлки P. Такимъ образомъ, тяга, производимая въ точкѣ *0* вѣсомъ (силой) въ 100 **гр**, оказываетъ совершенно то же дѣйствіе, какъ и двѣ тяги (двѣ силы), производимыя вѣсомъ, каждая по 50 **гр**, приложенныя къ точкамъ *3*. Поэтому мы можемъ также сказать, что сила въ 100 **гр**, приложенная въ точкѣ *0*, есть равнодѣйствующая обѣихъ слагающихъ по 50 **гр**, приложенныхъ по обѣ стороны у точекъ *3* на равныхъ разстояніяхъ *03* отъ средины.

Въ нашемъ случаѣ эти слагающія равны по величинѣ, затѣмъ параллельны по направленію (отвѣсны) и приложены въ двухъ неподвижно другъ съ другомъ связанныхъ точкахъ (*3*, *3*). Равнодѣйствующая также дѣйствуетъ по отвѣсному направленію, а значитъ, параллельна слага-

ющимъ; она равна суммѣ слагающихъ и приложена въ серединѣ *0* прямой линіи, соединяющей точки приложенія обѣихъ слагающихъ. Тотъ же самый законъ найдемъ мы, если вмѣсто точекъ приложенія *3*, возьмемъ другія, напр. *4*, *2* или *1* или вмѣсто гирь по 50 **гр** будемъ подвѣшивать, напр., гири по 20 **гр**, по 10 **гр** и т. д.

б) Если же въ нашемъ опытѣ мы возьмемъ два неодинаковыхъ груза, напр. въ 60 **гр** и въ 40 **гр**, то прежде всего мы увидимъ, что для устраненія вращенія пластинки и для сохраненія горизонтальнаго ея положенія эти грузы необходимо прикрѣпить на неодинаковыхъ разстояніяхъ отъ *0*. Пробуя подвѣшивать эти грузы въ разныхъ мѣстахъ, мы замѣтимъ, что если гирю въ 40 **гр** подвѣсить въ точкѣ *3*, то гирю въ 60 **гр** придется для достиженія горизонтальности пластинки подвѣсить въ точкѣ *2*. Но и здѣсь опытъ покажетъ, что обѣ параллельныя слагающія можно замѣнить одной силой (равнодѣйствующей), величина которой будетъ равна 60 **гр** + 40 **гр** = 100 **гр**, а точка приложенія въ *0*. Только теперь точка приложенія находится не посрединѣ прямой, соединяющей точки приложенія слагающихъ (*3* — *0* — *2*), а въ точкѣ, въ которой эта прямая дѣлится въ отношеніи обратномъ величинамъ обѣихъ слагающихъ; дѣйствительно, сила въ 40 **гр** приложена на разстояніи трехъ дѣленій отъ точки приложенія равнодѣйствующей 0. а сила въ 60 **гр** на разстояніи двухъ дѣленій; при этомъ отношеніе обѣихъ слагающихъ 40 : 60 — 2 : 3, а отношеніе разстояній 30 : 20 — 3 : 2.

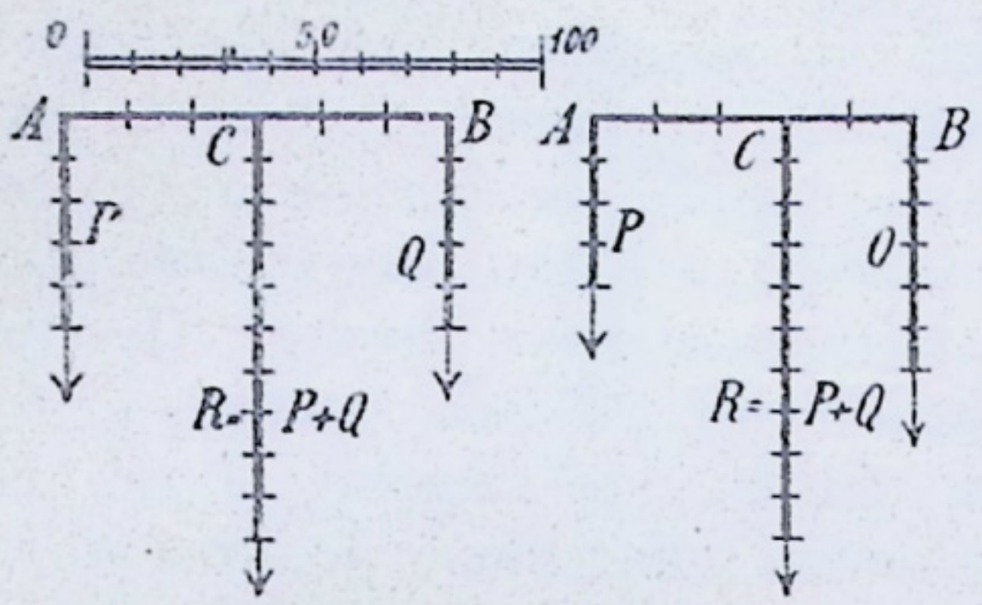
Изъ этого и другихъ подобныхъ опытовъ вытекаютъ слѣдующіе законы для **сложенія параллельныхъ силъ, направленныхъ въ одну сторону** и приложенныхъ въ двухъ другъ съ другомъ связанныхъ точкахъ. Двѣ направленныя въ одну сторону параллельныя силы, приложенныя въ неподвижно другъ съ другомъ связанныхъ точкахъ *A* и *B*, могутъ быть замѣнены одной равнодѣйствующей, равной ихъ суммѣ, параллельной имъ и приложенной въ точкѣ, которая дѣлитъ прямую *AB*, соединяющую точки приложенія слагающихъ, въ отношеніи, обратномъ величинамъ послѣднихъ.

Фиг. 203,*ab* представляетъ схематическое изображеніе описанныхъ выше опытовъ. Слагающія *P* и *Q*, а также равнодѣйствующая *R* наглядно представлены въ видѣ прямыхъ. Примѣните этотъ способъ къ слѣдующимъ задачамъ.

Задачи: 1. Сложите при помощи вычисленія и построенія слагающія P и Q, приложенныя въ неподвижно другъ съ другомъ связанныхъ точкахъ прямой A и B при условіи:

а) $P = 5$ кгр, $Q = 7$ кгр, $AB = 24$ цт;
б) $P = 12$ кгр, $Q = 18$ кгр, $AB = 30$ цт;
в) $P = 15$ кгр, $Q = 20$ кгр, $AB = 28$ цт;
г) $P = 24$ кгр, $Q = 30$ кгр, $AB = 2$ мт 7 дцм.

2. Силы мальчика и мужчины относятся другъ къ другу, какъ 3 : 5, оба они должны нести грузъ въ 72 кгр на носилкахъ длиной въ 2,4 м; въ какомъ мѣстѣ этихъ носилокъ надо положить грузъ, чтобы на каждаго изъ носильщиковъ приходилась часть груза пропорціональная его силѣ? 3. Сложите три параллельныхъ силы C_1, C_2, C_3, изъ которыхъ $C_1 = 300$ гр, $C_2 = 200$ гр, $C_3 = 500$ гр; точки приложенія A и B силъ C_1 и C_3 отстоятъ другъ отъ друга на 22 цт а точка приложенія B силы C_2, лежащая между A и B, находится отъ A на разстояніи 5 цт. Для рѣшенія этой задачи сначала сложите C_1 и C_2 въ одну силу, а затѣмъ полученную равнодѣйствующую этихъ двухъ слагающихъ сложите съ силой C_3 въ одну общую равнодѣйствующую. 4. Рѣшите задачу № 3 при условіи, что $C_1 = 8$ кгр, $C_2 = 6$ кгр, $C_3 = 9$ кгр, $AB = 98$ цт, $AB = 14$ цт.



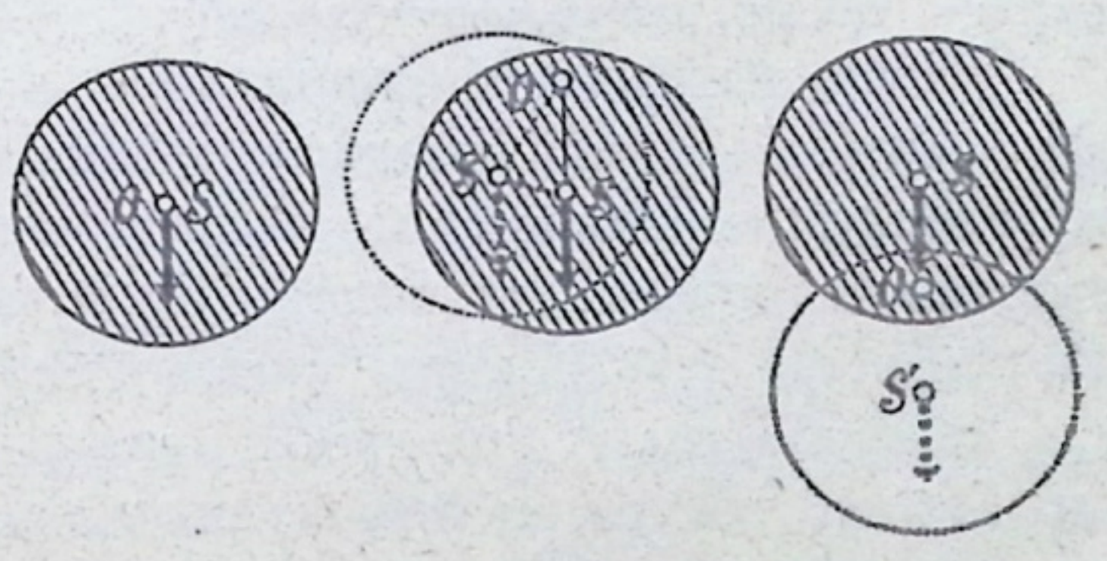
Фиг. 203.

134. **Центръ тяжести.** Представимъ себѣ мѣшочекъ, туго набитый свинцовой дробью. Онъ имѣетъ опредѣленный вѣсъ; вѣсъ этотъ — если пренебречь вѣсомъ пустого мѣшка — есть слѣдствіе того, что каждая дробинка обладаетъ небольшимъ вѣсомъ; если, напр., вѣсъ дробинки равенъ $^1/_4$ гр. и такихъ дробинокъ въ мѣшкѣ 20.000, то вѣсъ мѣшка съ дробью равенъ 5000 гр или 5 кгр. Вѣсъ каждой дробинки представляетъ собой силу, направленную вертикально внизъ. Слѣдовательно, всѣ эти маленькія слагающія, представляющія вѣса отдѣльныхъ дробинокъ, взаимно параллельны. Какъ указано въ предыдущемъ параграфѣ сложимъ сначала первую и вторую изъ этихъ слагающихъ, затѣмъ полученную равнодѣйствующую ихъ и третью слагающую и т. д.; при этомъ въ концѣ концовъ мы должны получить одну общую равнодѣйствующую, равную суммѣ вѣсовъ всѣхъ отдѣльныхъ дробинокъ и представляющую общій вѣсъ свинцоваго тѣла (мѣшокъ со свинцовой дробью); но въ то же время наше сложеніе силъ должно въ концѣ концовъ привести къ одной совершенно опредѣленной точкѣ приложенія равнодѣйствующей, въ которой мы можемъ себѣ представить сосредоточеннымъ весь вѣсъ тѣла. Эта точка называется **центромъ тяжести тѣла** (ср. § 11).

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ мы, руководствуясь простыми соображеніями, можемъ очень легко найти этотъ центръ тяжести. Напр. гдѣ лежитъ центръ тяжести прямого, повсюду одинаковой толщины бруска? Очевидно по срединѣ;

представимъ себѣ брусокъ раздѣленнымъ на 100 равныхъ частей по длинѣ и сложимъ попарно вѣсъ (1-ой и 100-ой части, 2-ой и 99-ой и т. д., тогда равнодѣйствующая каждой пары, а слѣдовательно и ихъ общая равнодѣйствующая будетъ приложена къ срединѣ бруска. Чтобы опредѣлить центръ тяжести прямоугольника, представимъ себѣ его раздѣленнымъ параллельно длинѣ на большое число полосокъ; центры тяжести послѣднихъ будутъ лежать на прямой, соединяющей ихъ середины. Если же мы представимъ себѣ прямоугольникъ раздѣленнымъ на полоски параллельно ширинѣ, то всѣ отдѣльные центры тяжести такихъ полосокъ будутъ расположены на линіи, соединяющей ихъ средины. Такимъ образомъ, центръ тяжести прямоугольника, находясь одновременно на двухъ прямыхъ, можетъ быть только на ихъ пересѣченіи. А такъ какъ это пересѣченіе есть центръ прямоугольника, то для нахожденія центра тяжести проще всего провести двѣ діагонали. Съ помощью такихъ-же разсужденій опредѣлите центръ тяжести параллелограма, круга, цилиндра, шара, куба и пр. Въ каждомъ такомъ случаѣ правильность найденнаго рѣшенія задачи можно легко провѣрить посредствомъ опыта. Если мы, напр., вырѣжемъ изъ картона ромбъ, отмѣтимъ на немъ посредствомъ надавливанія тупой иглой центръ тяжести, который здѣсь будетъ на пересѣченіи діагоналей, и затѣмъ положимъ ромбъ намѣченной точкой на остріе укрѣпленной вертикально иглы, то ромбъ не упадетъ, а останется на концѣ иглы въ равновѣсіи, сохраняя горизонтальное положеніе. Это доказываетъ, что именно эта точка служитъ точкой приложенія всего вѣса тѣла, такъ какъ достаточно подпереть тѣло въ одной только этой точкѣ, чтобы не дать ему упасть. (Ср. § 11).

135. **Виды равновѣсія. Устойчивость.** *а*) Сдѣлаемъ отверстіе въ центрѣ *S* картоннаго кружка (фиг. 204, I) и надѣнемъ его этимъ отверстіемъ на горизонтально укрѣпленную вязальную спицу. Если теперь мы будемъ, вращая кружокъ, придавать ему различныя положенія, то замѣтимъ, что въ каждомъ изъ такихъ положеній онъ останется въ состояніи покоя. Такимъ образомъ, кружокъ подпертъ какъ разъ въ его центрѣ тяжести *S*. Поэтому вѣсъ его можетъ обнаруживаться только въ видѣ давленія на ось вращенія; а потому, если эта ось достаточно прочна, то она своимъ противодѣйствіемъ (сопротивленіемъ) уравновѣшиваетъ давленіе вѣса. Въ этомъ случаѣ нѣтъ, слѣдовательно, причинъ, вызывающихъ движеніе; тѣло, если ось вращенія проходитъ черезъ его центръ тяжести, остается въ состояніи покоя во всякомъ возможномъ положеніи, оно находится, какъ говорятъ, въ состояніи **безразличнаго равновѣсія.**



Фиг. 204.

Продѣлаемъ теперь въ кружкѣ отверстіе въ точкѣ *O*, лежащей внѣ точки *S* (фиг. 204, II). Въ центрѣ кружка *S*, который

въ то же время будетъ и центромъ тяжести послѣдняго, мы можемъ себѣ представить сконцентрированнымъ весь вѣсъ кружка. Если теперь мы повернемъ кружокъ на спицѣ около точки O такъ, чтобы онъ занялъ положеніе, означенное пунктиромъ, то точка S перейдетъ въ S'. Кружокъ теперь находится въ такихъ же условіяхъ, какъ маятникъ (§ 130); появляющаяся теперь слагающая, вызывающая движеніе, увлекаетъ кружокъ обратно въ положеніе, соотвѣтствующее состоянію покоя. Возникаетъ колебательное движеніе подобно маятнику, которое скоро, однако, прекращается вслѣдствіе имѣющихся препятствій движенію. Центръ тяжести въ этомъ случаѣ находится прямо подъ точкой опоры, на отвѣсной линіи, идущей внизъ отъ этой точки; тяга, производимая по направленію внизъ вѣсомъ кружка, уравновѣшивается при этомъ прочностью оси; мы говоримъ, что тѣло находится въ **устойчивомъ равновѣсіи.**

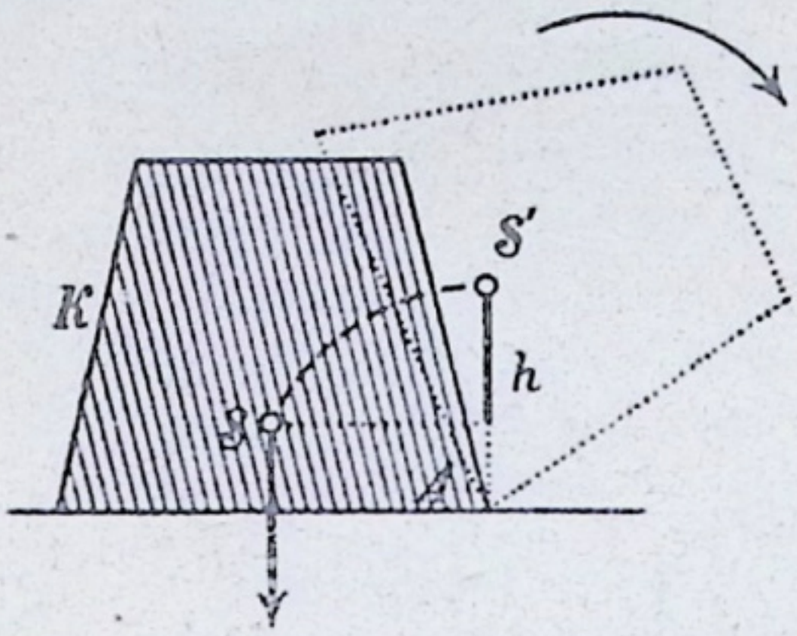
Устойчивымъ равновѣсіемъ можно воспользоваться для опредѣленія центра тяжести любыхъ, даже неправильной формы, тѣлъ; для этого тѣла подвѣшиваются на нити, прикрѣпляемой въ различныхъ мѣстахъ этихъ тѣлъ. (Ср. § 11). Центръ тяжести будетъ въ этомъ случаѣ находиться на каждой изъ отвѣсныхъ линій, представляющихъ собой продолженіе натянутой нити при различныхъ точкахъ прикрѣпленія (такъ называемыхъ направляющихъ линій), а слѣдовательно, для нахожденія центра тяжести надо опредѣлить точку пересѣченія двухъ такихъ направляющихъ линій.

Если мы будемъ вращать нашъ кружокъ около точки опоры (фиг. 204, III), пока точка S не окажется прямо надъ осью O, на вертикали, проведенной вверхъ черезъ точку опоры, то вѣсъ кружка при такомъ положеніи можетъ проявиться только въ давленіи на ось. Теперь, когда центръ тяжести находится прямо надъ точкой опоры, тѣло также будетъ находиться въ состояніи покоя; но такое равновѣсіе называется **неустойчивымъ**, такъ какъ уже самаго незначительнаго выведенія тѣла изъ этого равновѣсія достаточно, чтобы тѣло перешло въ положеніе, обозначенное пунктиромъ, т. е. въ устойчивое равновѣсіе.

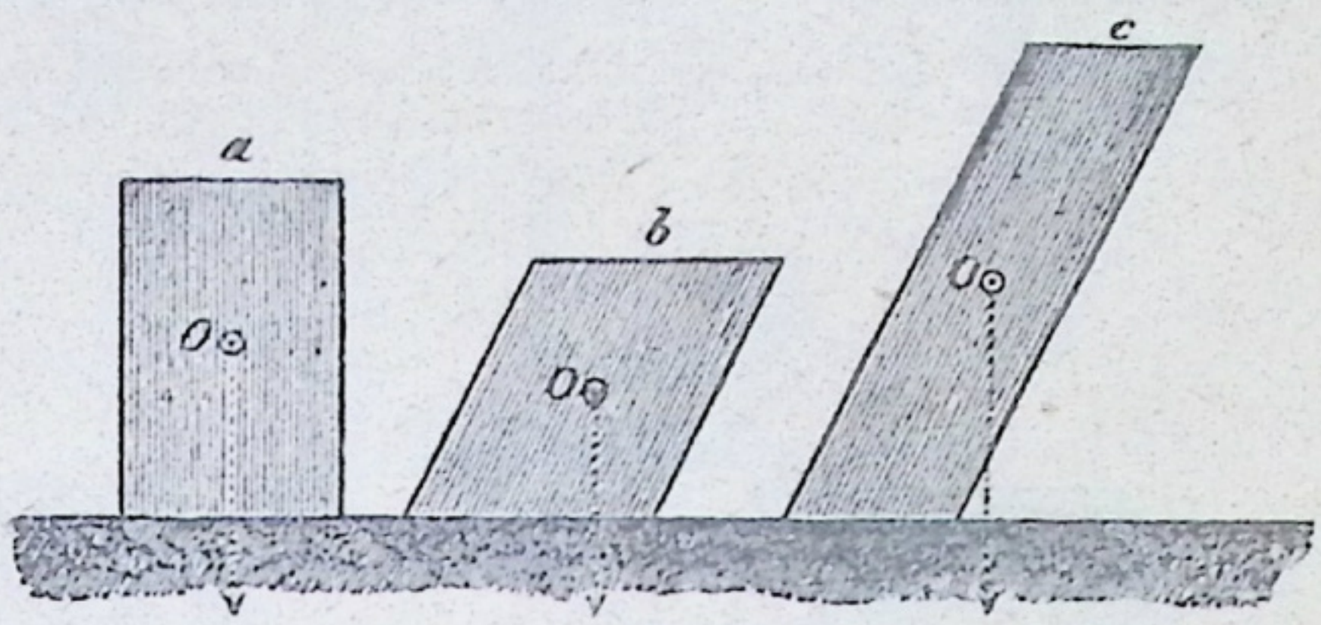
По какому признаку распознаемъ мы видъ равновѣсія въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ? Назовите тѣла, находящіяся въ устойчивомъ, неустойчивомъ и безразличномъ равновѣсіи!

б) Всякое тяжелое тѣло K (фиг. 205), спокойно лежащее на горизонтальной опорѣ, находится въ устойчивомъ равновѣсіи, пока перпендикуляръ, опущенный изъ центра тяжести тѣла, проходитъ внутри площади, служащей тѣлу опорой. Рис. 206 изображаетъ опытъ съ тремя призмами, изъ которыхъ a и b сохраняютъ представленное на фигурѣ положеніе равновѣсія, c же должна упасть (наклонныя башни). Если мы станемъ тѣло K (фиг. 205) поворачивать около одного изъ реберъ основанія A до тѣхъ поръ, пока центръ

тяжести S не перемѣстится въ S' (прямо надъ A), то мы приведемъ это тѣло въ неустойчивое равновѣсіе. Если повернуть тѣло въ томъ же направленіи еще дальше, то оно упадетъ. Чтобы тѣло изъ первоначальнаго его положенія довести до обозначеннаго пунктиромъ положенія неустойчиваго равновѣсія, пришлось поднять его центръ тяжести на высоту, равную прямой h. Чѣмъ больше эта прямая и чѣмъ больше вѣсъ тѣла, тѣмъ больше, очевидно, **устойчивость** послѣдняго.



Фиг. 205.



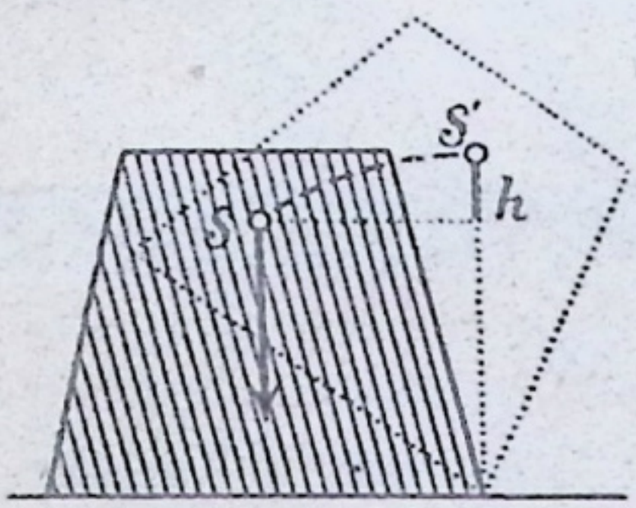
Фиг. 206.

Изъ разсмотрѣнія фиг. 207 и 208 и сравненія ихъ съ фиг. 205, убѣдитесь, что устойчивость при одномъ и томъ же вѣсѣ тѣмъ больше, чѣмъ ниже находится ц. т. S по отношенію къ основанію тѣла и чѣмъ шире это основаніе. Если тѣло опирается на подставку только въ отдѣльныхъ точкахъ послѣдней, то площадью опоры будетъ та площадь, которую мы получимъ, соединивъ крайнія точки опоры прямыми линіями. Начертите площадь опоры стола, стула, стоячей лампы и т. п! Площадью опоры стоящаго человѣка нельзя считать только сумму площадей обѣихъ подошвъ; скорѣе за такую площадь слѣдуетъ принять ту имѣющую видъ трапеціи площадь, которая ограничивается справа и слѣва линіями обѣихъ подошвъ, спереди — прямой, проведенной между концами большихъ пальцевъ обѣихъ ступней, а сзади — прямой, соединяющей обѣ пятки. Понятно, что эта площадь будетъ больше, если мы разставимъ ноги, чѣмъ при сомкнутыхъ пяткахъ. Почему ноги разставляютъ при борьбѣ или когда стоятъ на палубѣ судна при качкѣ? Почему садовникъ, несущій въ лѣвой рукѣ полную лейку, отклоняетъ свой корпусъ вправо? Почему носильщикъ, имѣющій на спинѣ большой и тяжелый предметъ, нагибается корпусомъ впередъ? Тѣло при ходьбѣ должно опираться попеременно то на правую, то на лѣвую ногу; какой результатъ вытекаетъ изъ этого для положенія тѣла въ этихъ случаяхъ. Что должны соблюдать лица, которымъ приходится итти сомкнутыми рядами, чтобы при этомъ движеніи не мѣшать другъ другу?

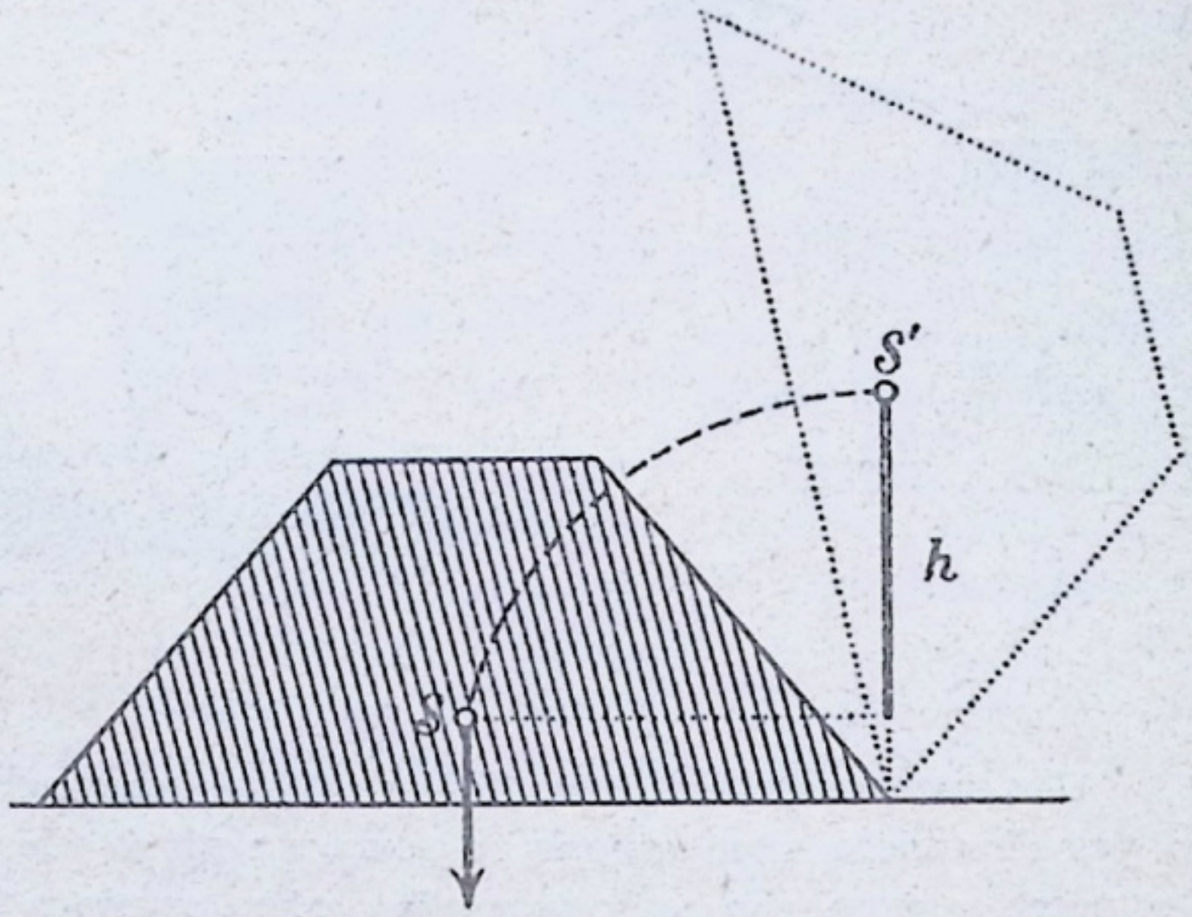
Чтобы канделябры, вѣшалки и вообще предметы домашней обстановки, были возможно устойчивѣе, имъ придаютъ возможно большую площадь опоры посредствомъ далеко выступающихъ ножекъ. Для предохраненія лампъ отъ опрокидыванія ихъ дѣлаютъ не слишкомъ высокими и снабжаютъ возможно болѣе тяжелыми подставками, самый низъ которыхъ часто еще дѣлается изъ свинца; этимъ достигается, что центръ тяжести всей лампы лежитъ очень низко. По той же причинѣ при нагрузкѣ телѣги или судна наиболѣе тяжелые

грузы кладутъ въ самый низъ, а легкіе сверху. На судахъ при отсутствіи тяжелаго груза нижнія помѣщенія грузятся камнями, мѣшками съ пескомъ, металлическими полосами, водой и т. д. (балластъ).

Если тѣло съ весьма малой площадью опоры удерживается въ неустойчивомъ равновѣсіи, то это называютъ балансированьемъ (напр., балансированье палки и т. п. въ рукѣ). Посредствомъ балансированья мы достигаемъ того, что центръ тяжести все время удерживается прямо надъ маленькой площадью опоры. Если, напр., мы хотимъ балансировать тростью на кончикѣ пальца, то этого мы достигаемъ тѣмъ, что при малѣйшемъ отклоненіи центра



Фиг. 207.



Фиг. 208.

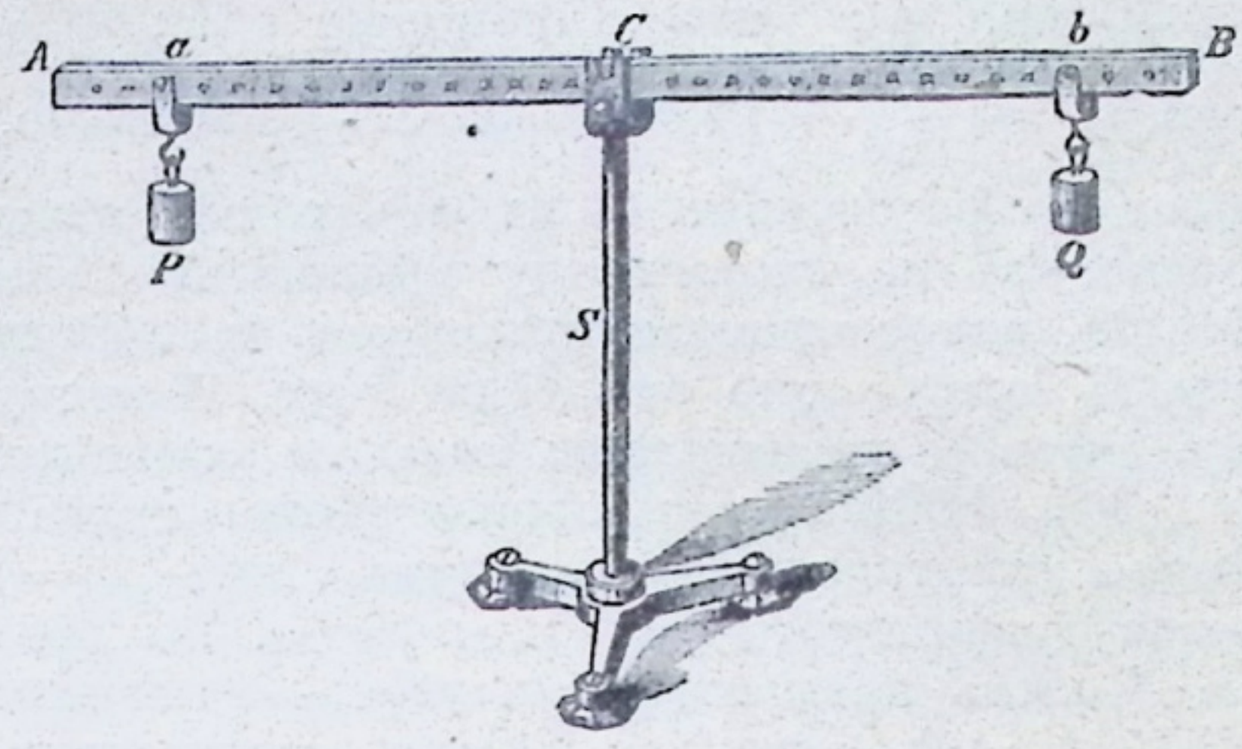
тяжести сейчасъ же передвигаемъ за нимъ маленькую площадь опоры, такъ сказать, подводимъ послѣднюю подъ центръ тяжести. При ходьбѣ по качающемуся бревну мы должны балансировать своимъ тѣломъ. При этомъ мы не можемъ, однако, подводить подъ нею площадь опоры, а содѣйствуемъ сохраненію положенія центра тяжести прямо надъ послѣдней посредствомъ поперечнаго поднятія рукъ въ стороны и опусканія ихъ. Особенно трудно хожденіе по канату. Насколько можетъ здѣсь облегчить задачу длинный, весьма тяжелый, внутри налитый свинцомъ шестъ (балансирный шестъ).

136. **Рычагъ.** *a*) Если изображенное на фиг. 202 коромысло *AB* вмѣстѣ съ подвѣшенными къ нему гирями снять со спиральной пружины и отверстіемъ *O* надѣть на горизонтально укрѣпленную ось (гвоздь), то коромысло это будетъ въ равновѣсіи точно такъ же, какъ это было при описанныхъ въ § 133 опытахъ. Это вполнѣ понятно, такъ какъ равнодѣйствующая приложенныхъ къ коромыслу силъ и въ этомъ случаѣ имѣетъ точку приложенія въ *O*, въ которой коромысло подперто теперь посредствомъ неподвижной оси. Поэтому равнодѣйствующая проявится только въ давленіи на ось, но не сможетъ произвести никакого движенія. Всякій такой стержень, могущій вращаться около неподвижной точки, на который дѣйству-

ютъ по крайней мѣрѣ двѣ силы, вращающія его по противоположнымъ направленіямъ, называется **рычагомъ**.

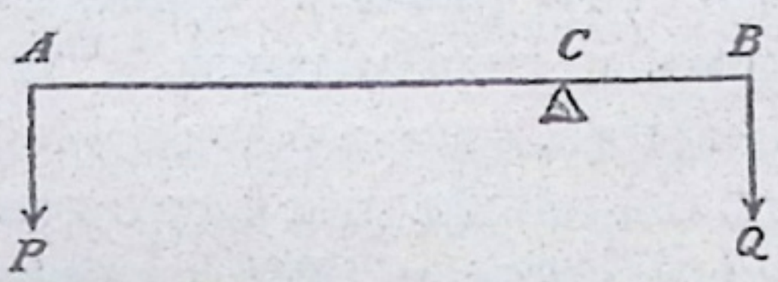
На фиг. 209 изображенъ лучше сдѣланный рычагъ, чѣмъ на фиг. 202.

Грузы P и Q (фиг. 209) представляютъ собой силы, стремящіяся повернуть рычагъ по взаимно противоположнымъ направленіямъ. Часть рычага, находящаяся между точкой опоры C и точкой приложенія одной силы, называется плечомъ рычага. Нашъ рычагъ имѣетъ два одинаковой длины плеча aC и Cb; поэтому онъ называется равноплечнымъ. Если длина обоихъ плечей рычага неодинакова, то мы будемъ называть такой рычагъ неравноплечнымъ.

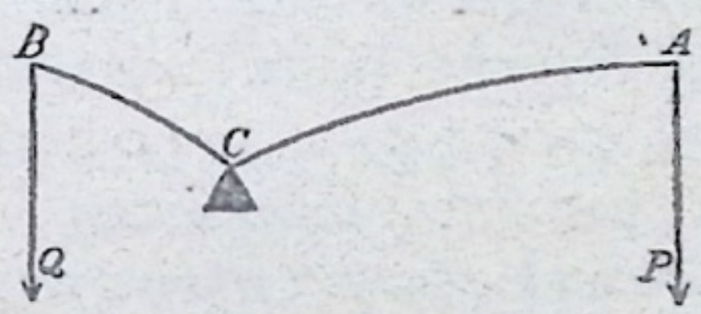


Фиг. 209.

Если точки приложенія силъ и точка опоры лежатъ на одной прямой, то рычагъ называется прямолинейнымъ (фиг. 210), въ противномъ случаѣ онъ носитъ названіе криволинейнаго или ломаннаго рычага (фиг. 211).



Фиг. 210.



Фиг. 211.

б) Если одну изъ гирь на фиг. 209, напр. P, мы называемъ силой, а другую Q—грузомъ, то результатъ опытовъ, описанныхъ въ § 133, который относится и къ рычагу, можно выразить слѣдующимъ образомъ. На равноплечномъ рычагѣ равновѣсіе существуетъ тогда, когда сила равна грузу. На неравноплечномъ рычагѣ равновѣсіе существуетъ тогда, когда сила и грузъ относятся другъ къ другу, какъ длина плеча, на которое дѣйствуетъ грузъ, къ длинѣ плеча, на которое дѣйствуетъ сила, или говоря короче: когда отношеніе силы къ грузу равно обратному отношенію длинъ плечъ рычага.

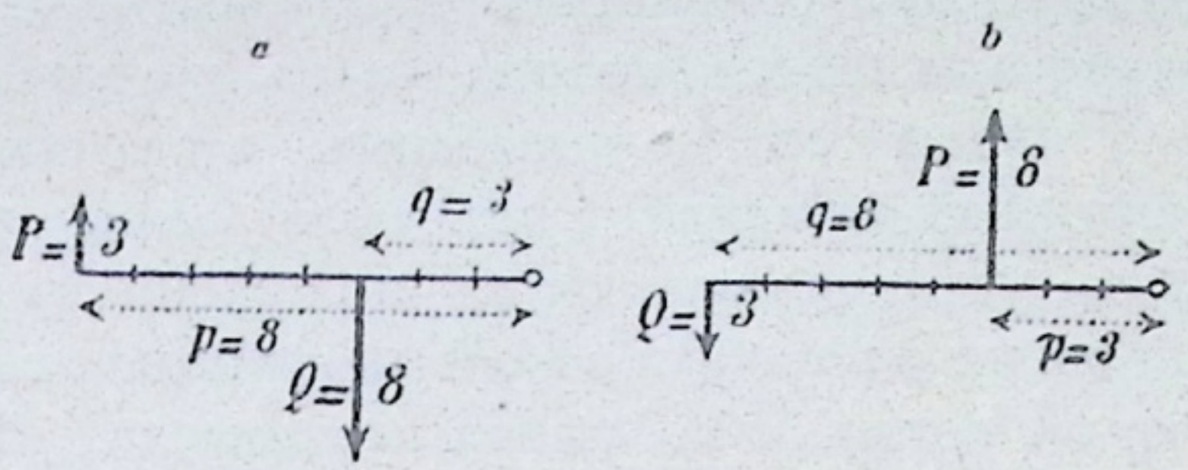
Если A (фиг. 210) изображаетъ точку приложенія силы P, B— точку приложенія груза Q и C — точку опоры рычага, который мы представляемъ себѣ неимѣющимъ никакого вѣса, то въ случаѣ, когда обѣ силы перпендикулярны къ AB и дѣйствуютъ по направленію стрѣлокъ, для равновѣсія рычага получаемъ пропорцію $P:Q=BC:AC$. Если, напр. $BC=5$ **цт**, $AC=30$ **цт**, $Q=240$ **гр**, то изъ пропорціи $P:240=5:30$ мы найдемъ, число $P=\frac{240\times 5}{30}$ **гр** $=40$ **гр.** Слѣдовательно, сила въ 40 **гр**, приложенная на разстояніи 30 **цт** отъ точки вращенія или точки опоры, производитъ на свою точку приложенія A совершенно то же самое дѣйствіе, какое производитъ грузъ въ 240 **гр** на свою точку приложенія B, отстоящую отъ C на 5 **цт**. Поэтому, если, какъ въ данномъ случаѣ, произведеніе силы на соотвѣтствующее плечо рычага, ($40\times 30=$ **1200**) равно произведенію груза на плечо рычага, на которое дѣйствуетъ этотъ грузъ ($240\times 5=$ **1200**), то между обѣими силами существуетъ равновѣсіе. Вышеприведенныя произведенія называются: первое — моментомъ силы, второе — моментомъ груза. Законъ равновѣсія на рычагѣ можно поэтому выразить такъ. Равновѣсіе на рычагѣ существуетъ тогда, когда моментъ силы равенъ моменту груза.

в) При опытахъ, произведенныхъ нами до сихъ поръ, мы имѣли дѣло съ рычагомъ, точка вращенія котораго находилась между точками приложенія силы и груза. Въ такомъ рычагѣ сила и грузъ дѣйствуютъ, слѣдовательно, съ двухъ различныхъ сторонъ рычага; назовемъ его поэтому двухсторонним рычагомъ или рычагомъ 1-го рода. Существуетъ еще другой родъ рычага, на которомъ и сила и грузъ дѣйствуютъ съ одной и той же стороны точки вращенія; такой рычагъ называется односторонним рычагомъ или рычагомъ второго рода. На фиг. 212*a* и 212*b* изображены два случая рычага второго рода; въ обоихъ случаяхъ Q обозначаетъ грузъ, P силу; плечо, на которое дѣйствуетъ грузъ, обозначено черезъ q, а то, на которое дѣйствуетъ сила, черезъ p; точка вращенія находится на правомъ концѣ рычага.

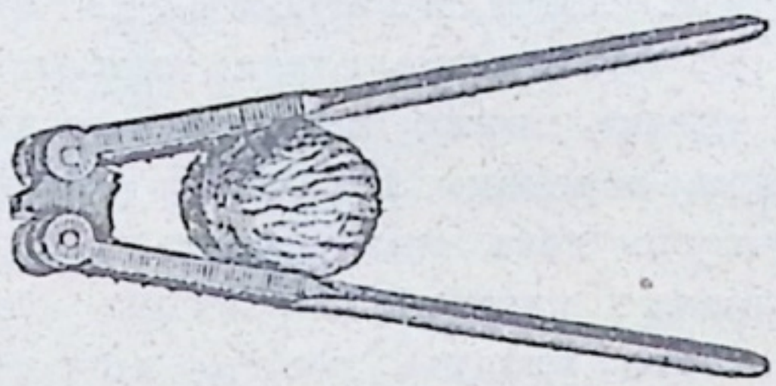
Покажите, что для представленныхъ на фиг. 212*a* и фиг. 212*b* случаевъ рычага второго рода дѣйствуетъ тотъ же законъ, который мы нашли выше для рычага перваго рода.

Въ случаѣ, изображенномъ на фиг. 212*a* сила меньше груза. При этомъ рычагѣ мы выигрываемъ въ силѣ; его можно назвать усиливающимъ, давящимъ рычагомъ. Во второмъ случаѣ (фиг. 212*b*) сила больше груза. Поэтому при этомъ рычагѣ мы теряемъ въ силѣ; его можно назвать метательнымъ, ускоряющимъ рычагомъ. Выгоды, которыя представляетъ намъ такой рычагъ, мы въ состояніи будемъ уяснить себѣ только впослѣдствіи.

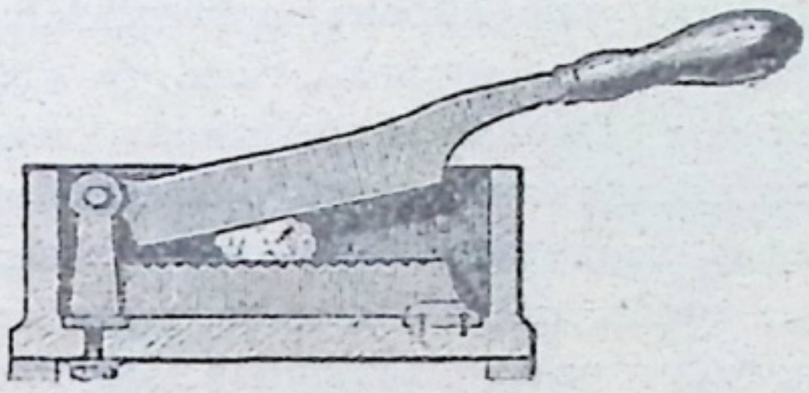
Изъ многочисленныхъ примѣненій рычага мы можемъ указать здѣсь лишь на нѣкоторыя. На рычагѣ перваго рода основаны обыкновенные вѣсы съ коромысломъ и безменъ (§ 14 и 15), ножницы, щипцы, шлагбаумъ, клавиша фортепіано, рукоятка насоса, доска для качанья и т. д.; на рычагѣ второго рода, при которомъ выигрывается сила, основаны: другого устройства ручка насоса, щипцы для раскалыванія орѣховъ (фиг. 213), тачка, рычагъ предохранительнаго клапана въ паровомъ котлѣ (фиг. 94), щеколда, ножъ для колки сахара (фиг. 214) и сходныя съ нимъ приспособленія для рѣзки травы и соломы, рукоятка желѣзнодорожной стрѣлки, гребное весло, въ которомъ точкой опоры (вращенія) надо считать конецъ весла, находящійся въ водѣ и т. д.; на рычагѣ второго рода, при которомъ теряется сила, основаны предплечье человѣка, а также вообще всѣ члены и ихъ части у человѣка и животныхъ, нижняя



Фиг. 212.



Фиг. 213.



Фиг. 214.

челюсть, коса, цѣпъ, вилы и т. п., подножка у прялки, токарнаго и точильнаго станковъ, каминные щипцы, пинцетъ, перо и карандашъ при писаніи и рисованіи и т. д.

Укажите во всѣхъ этихъ случаяхъ точку вращенія, а также точки приложенія силы и груза.

Задачи. 1. Рычагъ перваго рода длиною въ 1,6 м подпертъ въ точкѣ, отстоящей отъ конца его на 0,1 м; какой величины должна быть сила, чтобы удержать въ равновѣсіи грузъ въ 30 кгр, дѣйствующій на конецъ короткаго плеча рычага? 2. На рычагъ перваго рода длиной въ 2,5 м, подпертый на разстояніи 0,15 м отъ конца, дѣйствуютъ двѣ силы; какой величины должна быть сила, дѣйствующая на конецъ короткаго плеча, чтобы уравновѣсить силу въ 42 кгр, приложенную къ концу длиннаго плеча? 3. На рычагъ второго рода длиною въ 2½ м дѣйствуетъ сила въ 60 кгр, приложенная на разстояніи 0,25 м отъ точки вращенія; какой величины силу нужно приложить къ свободному концу рычага, чтобы уравновѣсить указанную силу? 4. Какова длина рычага второго рода, если точки приложенія обѣихъ дѣйствующихъ на него силъ въ 40 кгр и въ 16 кгр, отстоятъ другъ отъ друга на 1,5 м и если меньшая сила приложена къ свободному концу?

137. **Вѣсы.** Однимъ изъ важнѣйшихъ примѣненій рычага являются **вѣсы.** Наиболѣе часто употребляются вѣсы съ коромысломъ и чашками, или торговые вѣсы, и **безменъ.**

Описаніе такихъ вѣсовъ дано въ § 14 и § 15. Хорошіе вѣсы должны быть вѣрны и чувствительны; коромысло вѣсовъ должно при одинаковой нагрузкѣ чашекъ находиться въ горизонтальномъ положеніи въ устойчивомъ равновѣсіи.

Вѣсы съ коромысломъ вѣрны, если они показываютъ истинный (вѣрный) вѣсъ тѣла, если, слѣдовательно, стрѣлка вѣсовъ устанавливается въ положеніи равновѣсія только при дѣйствительно равной нагрузкѣ чашекъ. Это же достигается тогда, когда оба плеча коромысла вѣсовъ имѣютъ равную длину и равный вѣсъ, когда ихъ центры тяжести лежатъ на одинаковомъ разстояніи отъ точки опоры и когда чашки вмѣстѣ со шнурками, цѣпочками и т. д. точно также имѣютъ равный вѣсъ.

Чтобы испытать вѣрность равноплечныхъ вѣсовъ, кладутъ, произвольный грузъ на первую чашку и, уравновѣсивъ его разновѣсками, положенными на вторую чашку, опредѣляютъ его вѣсъ. Затѣмъ перемѣщаютъ грузъ на мѣсто разновѣсокъ, а послѣднія на мѣсто груза. Если равновѣсіе при этомъ не нарушается, то вѣсы вѣрны; въ противномъ случаѣ они невѣрны. Однако и на такихъ невѣрныхъ вѣсахъ можно вѣрно опредѣлить вѣсъ тѣла, для чего поступаютъ слѣдующимъ образомъ. На одну чашку вѣсовъ кладутъ взвѣшиваемое тѣло, а на другую такъ называемую тару, т. е. дробь, песокъ и т. п., пока стрѣлка не покажетъ равновѣсіе. Затѣмъ снимаютъ съ чашки взвѣшиваемое тѣло и на его мѣсто кладутъ разновѣски, замѣняющія въ этомъ случаѣ истинный вѣсъ тѣла, пока стрѣлка опять не укажетъ равновѣсія. Эти разновѣски производятъ на чашку давленіе совершенно такой же величины, какъ и взвѣшиваемое тѣло, и, слѣдовательно, даютъ намъ вѣрный вѣсъ тѣла. Это и есть способъ (Борда) взвѣшиванія съ тарой.

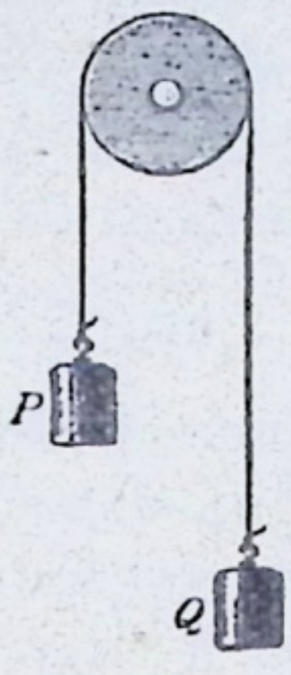
Вѣсы считаются чувствительными въ томъ случаѣ, когда небольшой излишекъ вѣса, прибавленный на одну изъ чашекъ, производитъ уже значительное отклоненіе стрѣлки. Это достигается въ томъ случаѣ, если коромысло вѣсовъ возможно болѣе длинно и легко, если, затѣмъ, треніе на оси вращенія очень незначительно и если центръ тяжести коромысла, находящійся ниже оси вращенія, лежитъ близко къ ней.

Коромысло вѣсовъ только тогда можетъ быть въ устойчивомъ равновѣсіи при горизонтальномъ положеніи, когда центръ тяжести при горизонтальномъ положеніи коромысла лежитъ на отвѣсной линіи, проведенной внизъ отъ оси вращенія. Въ этомъ случаѣ центръ тяжести занимаетъ возможно болѣе низкое положеніе.

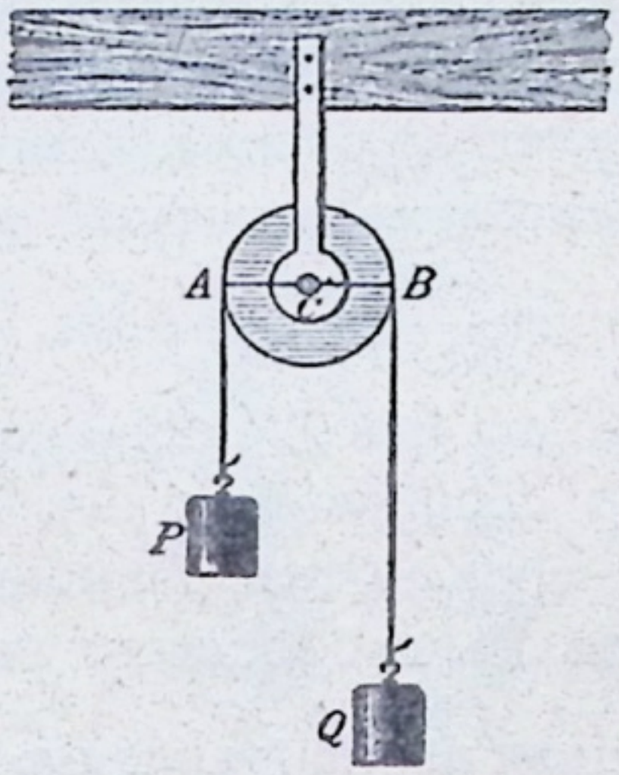
Химики, аптекари, ювелиры должны имѣть весьма чувствительные вѣсы. Такіе химическіе вѣсы (фиг. 22 на стр. 15) имѣютъ ромбическое коромысло съ вырѣзами; такое коромысло, выдерживая значитель-

ные грузы, имѣетъ сравнительно небольшой вѣсъ. Его ось вращенія состоитъ изъ стальной треграшной призмы, острымъ ребромъ стоящей на агатовой подставкѣ. Стрѣлка направлена внизъ и при равновѣсіи указываетъ на нулевое дѣленіе, на дугообразной шкалѣ, прикрѣпленной къ нижней части колонки, поддерживающей коромысло. Размахъ стрѣлки также отсчитывается по этой шкалѣ. Чашки подвѣшиваются на крючкахъ съ острыми ребрами. Когда на вѣсахъ не взвѣшиваютъ, то все коромысло вмѣстѣ съ чашками при помощи особаго винта поднимается съ агатовой подставки, во избѣжаніе ненужнаго стиранія острія призмы. Для предохраненія вѣсовъ отъ движенія воздуха, мѣшающаго взвѣшиванію, отъ пыли, влажности и т. п. они часто помѣщаются еще въ стеклянномъ ящикѣ.

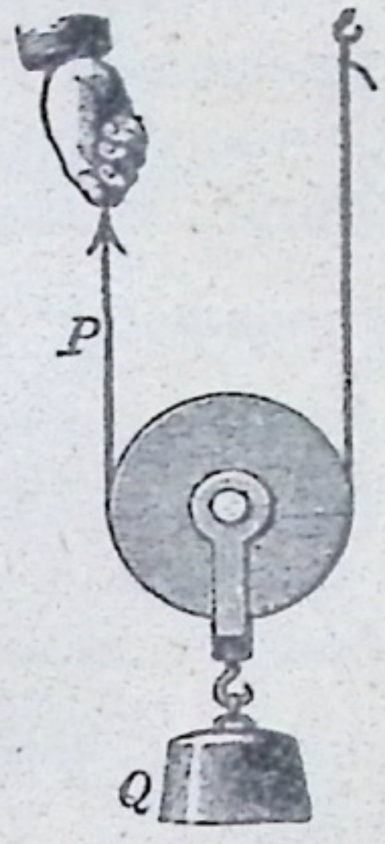
138. **Блокъ и полиспастъ.** *а*) Изображенный на фиг. 215 кружокъ, съ желобкомъ по окружности, можетъ вращаться около



Фиг. 215.



Фиг. 216.



Фиг. 217.

оси, проходящей черезъ его центръ. Перекинемъ черезъ этотъ кружокъ довольно длинный шнуръ такъ, чтобы послѣдній проходилъ по желобку. Къ свободно висящимъ концамъ шнура прикрѣпимъ двѣ гири равнаго вѣса. При этомъ кружокъ не будетъ вращаться; грузы на немъ будутъ въ равновѣсіи, безразлично—висятъ ли они оба на одной и той же высотѣ или на разной. Такого рода приборъ называется **блокомъ.** Обыкновенно кружокъ помѣщается въ вилообразной распоркѣ, называемой обоймой (фиг. 216—217); послѣдняя служитъ или для укрѣпленія блока въ какой либо неподвижной точкѣ или же для подвѣшиванья къ блоку груза. Въ первомъ случаѣ кружокъ блока совершаетъ только вращательное движеніе, не измѣняя своего мѣста; во второмъ, кромѣ вращательнаго движенія кружка происходитъ еще и поступательное движеніе всего блока. Поэтому мы различаемъ неподвижные (фиг. 216) и подвижные блоки (фиг. 217).

Неподвижный блокъ (фиг. 216) дѣйствуетъ, какъ равноплечный рычагъ, точкой опоры котораго будетъ C, и плечами радіусы AC и CB кружка. Поэтому на неподвижномъ блокѣ (подобно тому, какъ на равноплечномъ рычагѣ) равновѣсіе будетъ существовать тогда, когда сила равна грузу. Отсюда слѣдуетъ, что при неподвижномъ блокѣ мы не можемъ ничего выиграть въ силѣ. Такой блокъ примѣняется только для приданія силѣ цѣлесообразнаго направленія.

Неподвижный блокъ часто примѣняется при автоматическомъ затворѣ для дверей, для поднманія вверхъ, для висячихъ лампъ и т. д.

б) Подвѣсимъ теперь грузъ Q (напр. 6 **кгр**) къ обоймѣ подвижнаго блока (фиг. 217). Если мы возьмемъ въ каждую руку по концу веревки, то грузъ Q распредѣлится поровну между обѣими руками; слѣдовательно, каждая рука испытываетъ по направленію внизъ тягу въ $\frac{Q}{2}$ (въ нашемъ случаѣ въ 3 **кгр**). Если же мы (какъ изображено на фиг.) одинъ конецъ веревки прикрѣпимъ къ крюку, прочно ввинченному въ потолокъ, въ балку и т. п., то для удержанія груза Q въ равновѣсіи, очевидно, достаточно будетъ приложить къ свободному концу веревки силу P, равную $\frac{Q}{2}$, и дѣйствующую по направленію вверхъ.

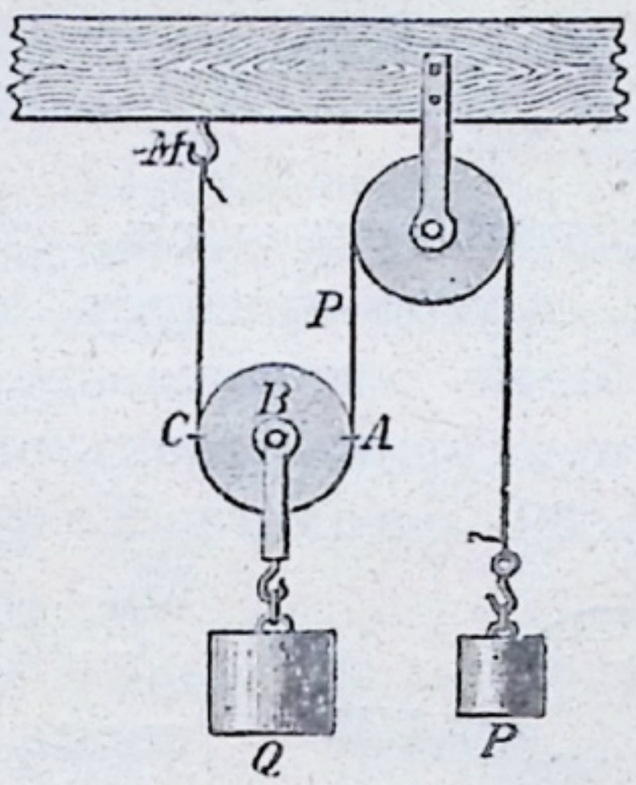
Въ правильности этого мы можемъ убѣдиться, перекинувъ свободный конецъ шнура черезъ неподвижный блокъ, прикрѣпленный рядомъ такъ, чтобы всѣ части шнура были взаимно параллельны (фиг. 218). Если, напр., $Q = 200$ гр, то къ свободному концу веревки, спускающемуся съ неподвижнаго блока, достаточно подвѣсить гирю $P = 100$ гр.

Подвижный блокъ дѣйствуетъ, какъ рычагъ второго рода ABC (фиг. 218), точкой вращенія котораго будетъ C; грузъ при этомъ дѣйствуетъ на плечо BC (радіусъ), и сила на плечо AC (діаметръ, равный двумъ радіусамъ). Такъ какъ здѣсь плечо рычага, къ которому приложена сила, вдвое длиннѣе плеча, на которое дѣйствуетъ грузъ, то ясно, что при равновѣсіи сила P должна равняться половинѣ груза Q.

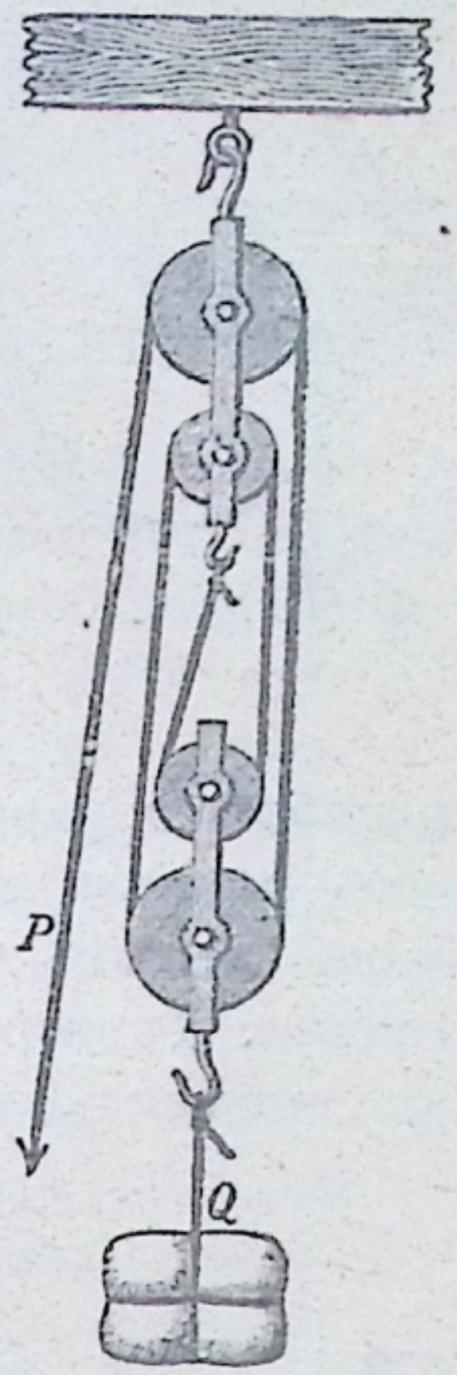
Подвижный блокъ примѣняется для поднятія большихъ тяжестей; гири въ часахъ съ длиннымъ маятникомъ также привѣшиваются съ помощью подвижныхъ блоковъ.

в) Соединеніе нѣсколькихъ подвижныхъ блоковъ со столькими же неподвижнымы (фиг. 219) называется **полиспастомъ.**

Неподвижные блоки соединены въ одной общей обоймѣ, а подвижные въ другой; такія общія обоймы называются коробками полиспаста. Такимъ образомъ, полиспастъ состоитъ изъ неподвижной и подвижной коробокъ съ одинаковымъ числомъ блоковъ въ каждой. Если блоки расположены (какъ на фиг. 219) одинъ надъ другимъ, то величина ихъ уменьшается къ серединѣ полиспаста для того, чтобы концы шнура или каната имѣли параллельныя направленія. Грузъ Q поддерживается въ изображенномъ на фигурѣ полиспастѣ четырьмя одинаково сильно натянутыми частями каната, а потому на каждую такую часть приходится только $^1/_4$ вѣса груза. Слѣдовательно, весь грузъ можно здѣсь поддерживать въ равновѣсіи при помощи силы, равной $^1/_4$ груза. Такимъ образомъ, для равновѣсія на полиспастѣ сила должна быть во столько разъ меньше груза, сколько блоковъ входитъ въ составъ полиспаста.



Фиг. 218.



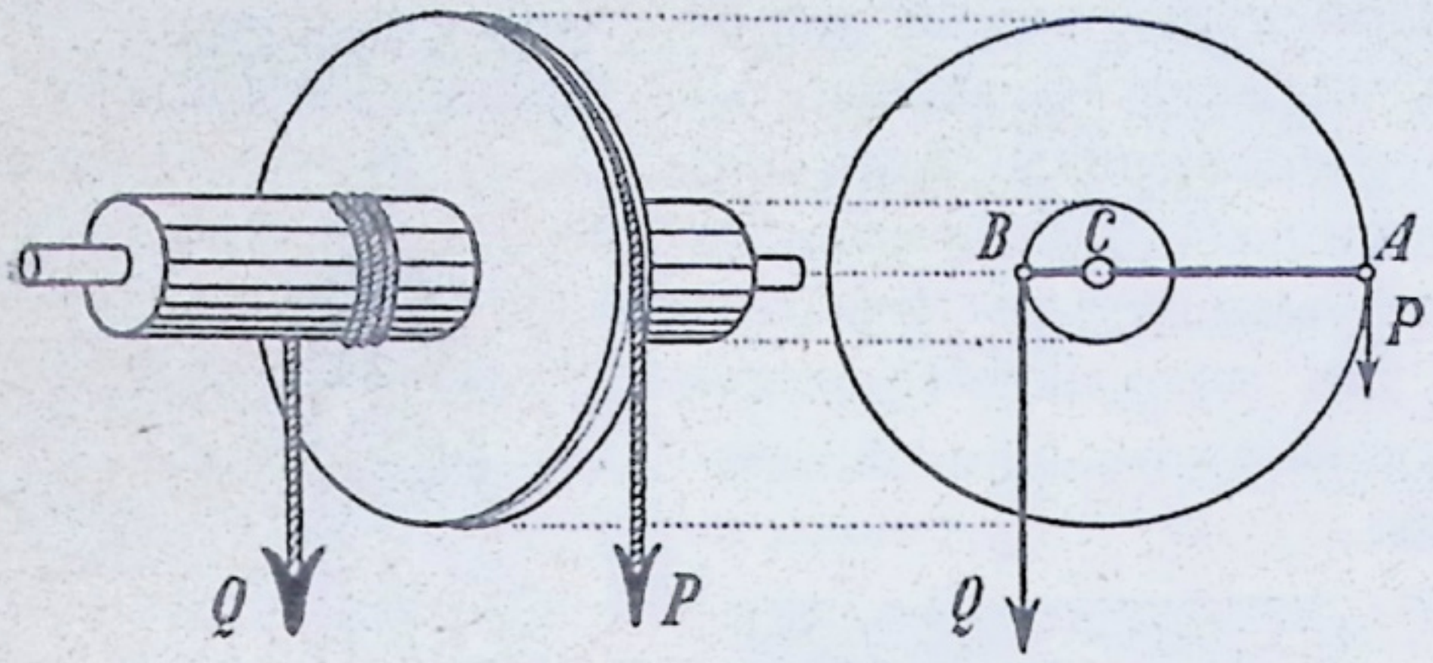
Фиг. 219.

Полиспастъ употребляется для поднятія большихъ тяжестей; при этомъ часто къ свободному канату, перекинутому черезъ укрѣпленный вблизи неподвижный блокъ припрягаютъ лошадей и такимъ образомъ работаютъ конной тягой.

Задачи. 1. Чему должна быть равна сила, которая можетъ уравновѣсить грузъ въ 240 кгр на полиспастѣ съ шестью блоками? 2. Сколько человѣкъ нужно для удерживанья въ равновѣсіи груза въ 1440 кгр на полиспастѣ съ шестью блоками, если тяга каждаго человѣка равна 30 кгр? 3. Сколько блоковъ долженъ имѣть полиспастъ въ каждой коробкѣ, если нужно удержать на немъ въ равновѣсіи грузъ въ 600 кгр при помощи силы въ 75 кгр.

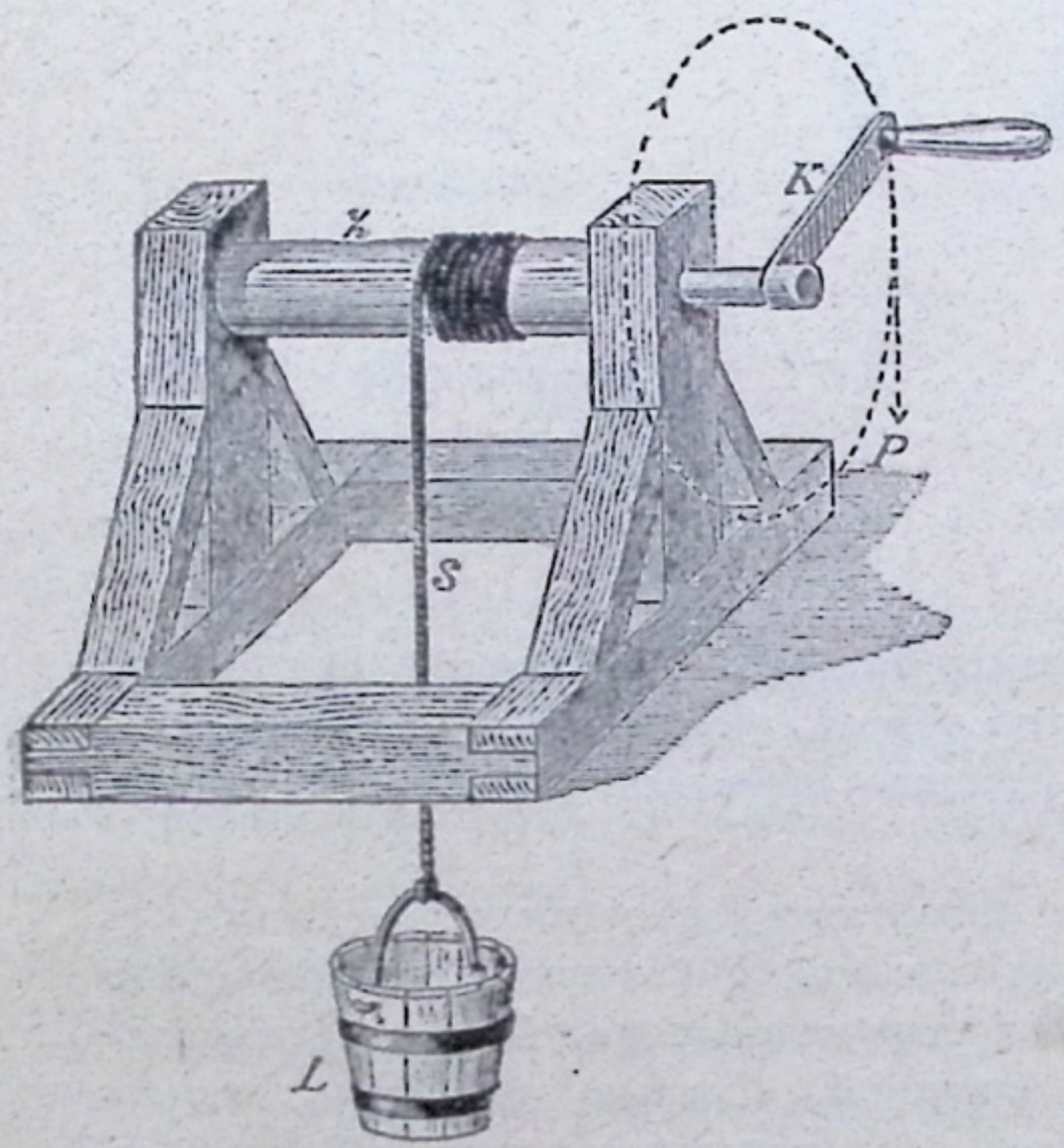
139. **Воротъ.** Валъ вмѣстѣ съ неподвижно укрѣпленнымъ на немъ кругомъ (колесомъ) можетъ вращаться около оси, совпадающей съ средней линіей вала и въ то же время проходящей

черезъ центръ колеса. Пусть, напр., радіусъ вала CB (фиг. 220) равенъ 10 **цт.**, радіусъ круга CA—30 **цт.** Подвѣсимъ къ валу грузъ Q въ 12 **кгр**, а къ колесу гирю P въ 4 **кгр.** Грузъ и гиря будутъ въ равновѣсіи. Описанное приспособленіе называется **воротомъ.** Объ силы Q и P дѣйствуютъ въ точкахъ A и B, неподвижно связанныхъ между собой и съ точкой C. Слѣдовательно, воротъ представляетъ собой неравноплечный рычагъ, плечи котораго равны: одно—радіусу вала, другое—радіусу колеса; точка опоры C рычага лежитъ на общей оси вращенія колеса и вала. Слѣдовательно, къ вороту примѣнимъ законъ рычага, согласно которому моментъ силы (4×30) равенъ моменту груза (12×10). Мы можемъ также сказать: равновѣсіе на воротѣ существуетъ тогда, когда сила относится къ грузу такъ, какъ радіусъ вала къ радіусу колеса.

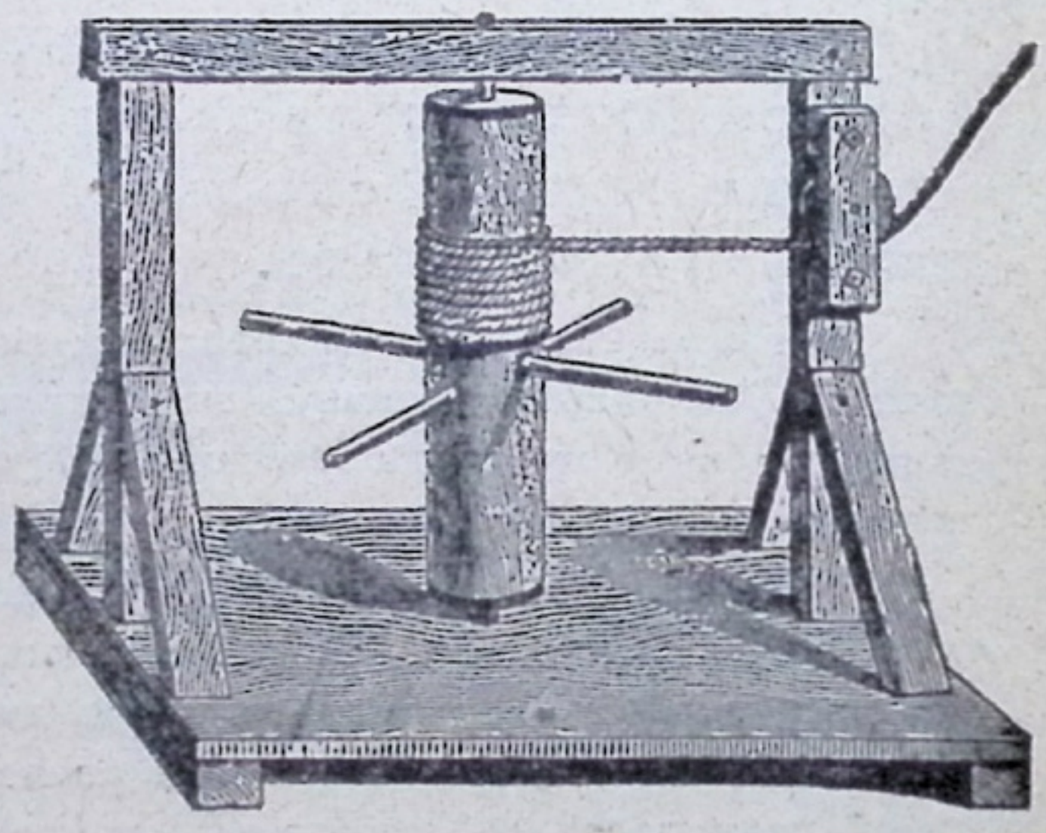


Фиг. 220.

Очень часто вмѣсто колеса воротъ имѣетъ рукоятку K (фиг. 221) или спицы (фиг. 222). Валъ можетъ имѣть или горизонтальное, или вертикальное положеніе; въ первомъ случаѣ воротъ называется горизонтальнымъ (фиг. 221), во второмъ—стоячимъ воротомъ или кабестаномъ (фиг. 222).



Фиг. 221.



Фиг. 222.

Воротъ примѣняется на мельницахъ въ видѣ водяного колеса, въ паровыхъ машинахъ, въ точильныхъ станкахъ, въ домкратахъ, въ токарныхъ станкахъ, при колодцахъ, въ велосипедахъ и т. д. Къ воротамъ относятся также системы зубчатыхъ колесъ, примѣняемыя для поднятія тяжелыхъ грузовъ (каменныхъ плитъ, желѣзныхъ балокъ и т. п.) при постройкахъ, а также передача посредствомъ зубчатыхъ колесъ въ часахъ.

Задачи. 1. Радіусъ колеса ворота равенъ 0,36 м, радіусъ вала 0,072 м; какой силой можно удержать въ равновѣсіи грузъ въ 200 кгр? 2. Воротъ снабженъ двумя спицами, каждая длиной въ 30 цт, радіусъ вала равенъ 4,5 цт; какой грузъ могутъ поднять этимъ воротомъ два человѣка, изъ которыхъ каждый будетъ дѣйствовать на одну спицу съ силой въ 24 кгр.

140. **Наклонная плоскость, клинъ и винтъ.** *a*) Если мы хотимъ удержать тѣло, скользящее внизъ по наклонной плоскости (§ 128), то достаточно приложить къ тѣлу силу P, дѣйствующую по направленію длины наклонной плоскости вверхъ и равную слагающей T вѣса тѣла, вызывающей движеніе тѣла внизъ. Если черезъ Q мы обозначимъ вѣсъ лежащаго на наклонной плоскости тѣла, то вслѣдствіе равенства $P = T$, мы будемъ имѣть пропорцію (согласно § 128 п. *г*.):

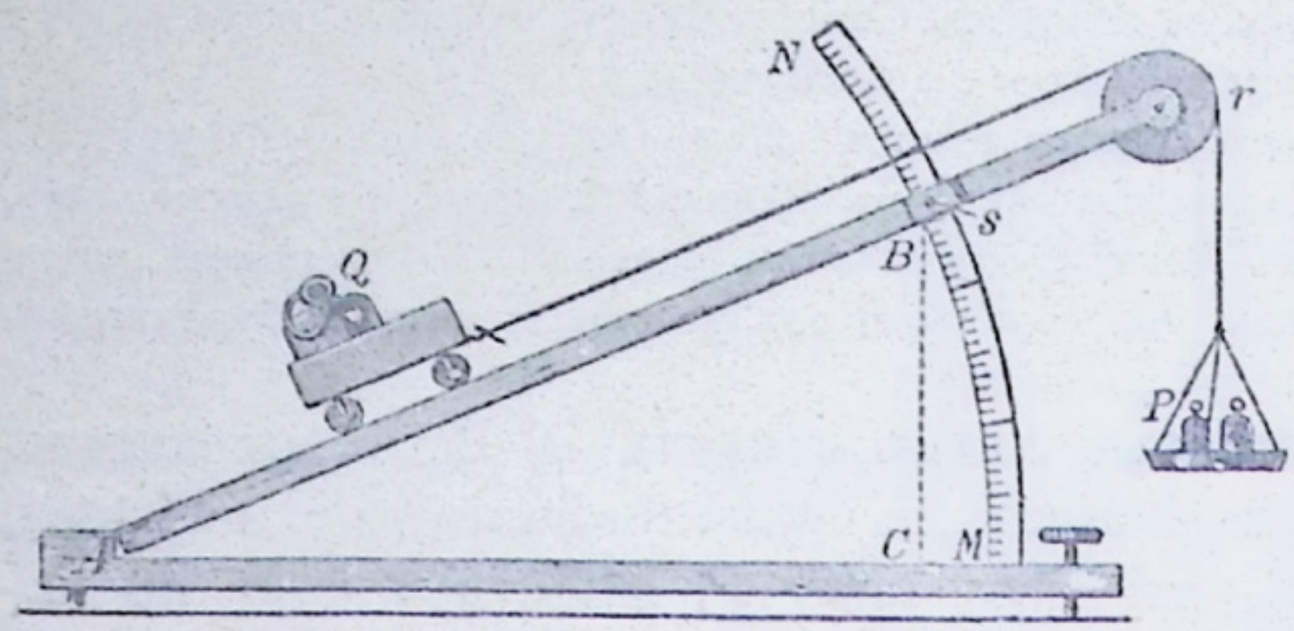
$$P : Q = h : l.$$

Такъ какъ h всегда меньше l (почему?), то и P должно быть меньше Q; слѣдовательно, на наклонной плоскости (подобно тому, какъ на рычагѣ, подвижномъ блокѣ, полиспастѣ, воротѣ) выигрывается въ силѣ, такъ какъ здѣсь при помощи меньшей силы P мы можемъ удержать въ равновѣсіи большій грузъ Q. Вышеприведенная пропорція выражаетъ слѣдующій законъ:

Если сила дѣйствуетъ параллельно длинѣ наклонной плоскости, то грузъ будетъ находиться въ равновѣсіи тогда, когда сила относится къ грузу такъ, какъ высота наклонной плоскости къ ея длинѣ. Такъ какъ отношеніе высоты къ длинѣ называется уклономъ наклонной плоскости, то этотъ законъ можно выразить еще такъ: Если сила дѣйсвуетъ параллельно длинѣ наклонной плоскости, то равновѣсіе существуетъ тогда, когда эта сила равна произведенію груза на уклонъ наклонной плоскости.

Вѣрность этого закона можно доказать съ помощью прибора, представленнаго на фиг. 223. Грузъ Q находится на легкой телѣжкѣ и удерживается въ равновѣсіи гирей тѣмъ меньшаго вѣса P, чѣмъ меньше высота BC наклонной плоскости въ сравненіи съ длиною ея AB. Поднимающіяся вверхъ дороги и желѣзнодорожные пути представляютъ собой наклонныя плоскости. Чему равенъ уклонъ при длинѣ въ 1000 м и высотѣ въ 50 м? Выразите этотъ уклонъ также въ процентахъ! Наибольшіе уклоны на горныхъ дорогахъ составляютъ $^1/_{40}$. Что это значитъ? При подъемахъ на крутыя горы идутъ или ѣдутъ по змѣевидно из-

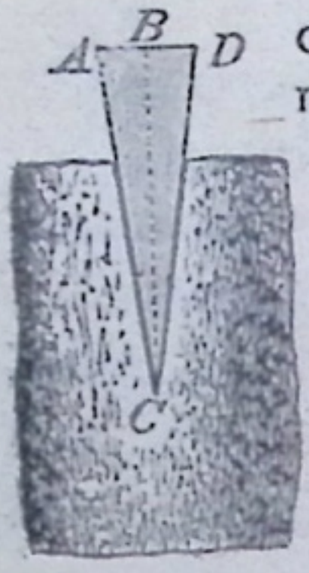
вивающемуся пути? (почему?). Не только поднимающіяся обыкновенныя и желѣзныя дороги, но и наклонныя лѣстницы, сходни, бруевья, служащіе для скатыванія, вкатыванья на телѣгу тяжелыхъ бочекъ и т. п. — все это различныя примѣненія наклонной плоскости.



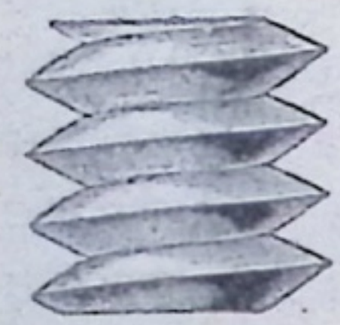
Фиг. 223.

Задачи. 1. Тѣло вѣсомъ въ 80 кгр нужно уравновѣсить на наклонной плоскости, длина которой 8 м, а высота 1,5 м, при помощи силы, дѣйствующей параллельно длинѣ наклонной плоскости. Чему будетъ равна эта сила? **2.** Если лошадь везетъ вверхъ по дорогѣ, уклонъ которой 2%, телѣгу, вѣсящую 1600 кгр, то чему равна слагающая сила тяжести, которую приходится лошади преодолѣвать при этомъ движеніи? **3.** Вычислите силу, съ которой долженъ дѣйствовать паровозъ, чтобы двигать вверхъ по пути, съ уклономъ въ $^1/_{200}$, поѣздъ, состоящій изъ 8 вагоновъ, вѣсомъ по 14 тоннъ каждый? **4.** Если длина наклонной плоскости относится къ высотѣ и къ основанію какъ 5 : 3 : 4, то какая потребуется сила, дѣйствующая параллельно длинѣ наклонной плоскости, чтобы уравновѣсить грузъ въ 250 кгр?

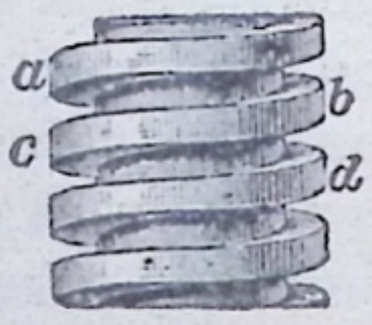
б) Примѣненіями наклонной плоскости являются также и **клинъ** (фиг. 224) и **винтъ** (фиг. 225 винтъ съ острой или треугольной нарѣзкой; фиг. 226 винтъ съ плоской или квадратной нарѣзкой). Первый состоитъ



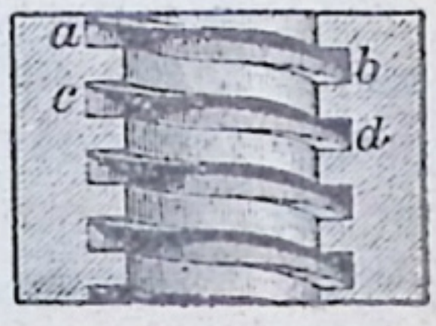
Фиг. 224.



Фиг. 225.



Фиг. 226.



Фиг. 227.

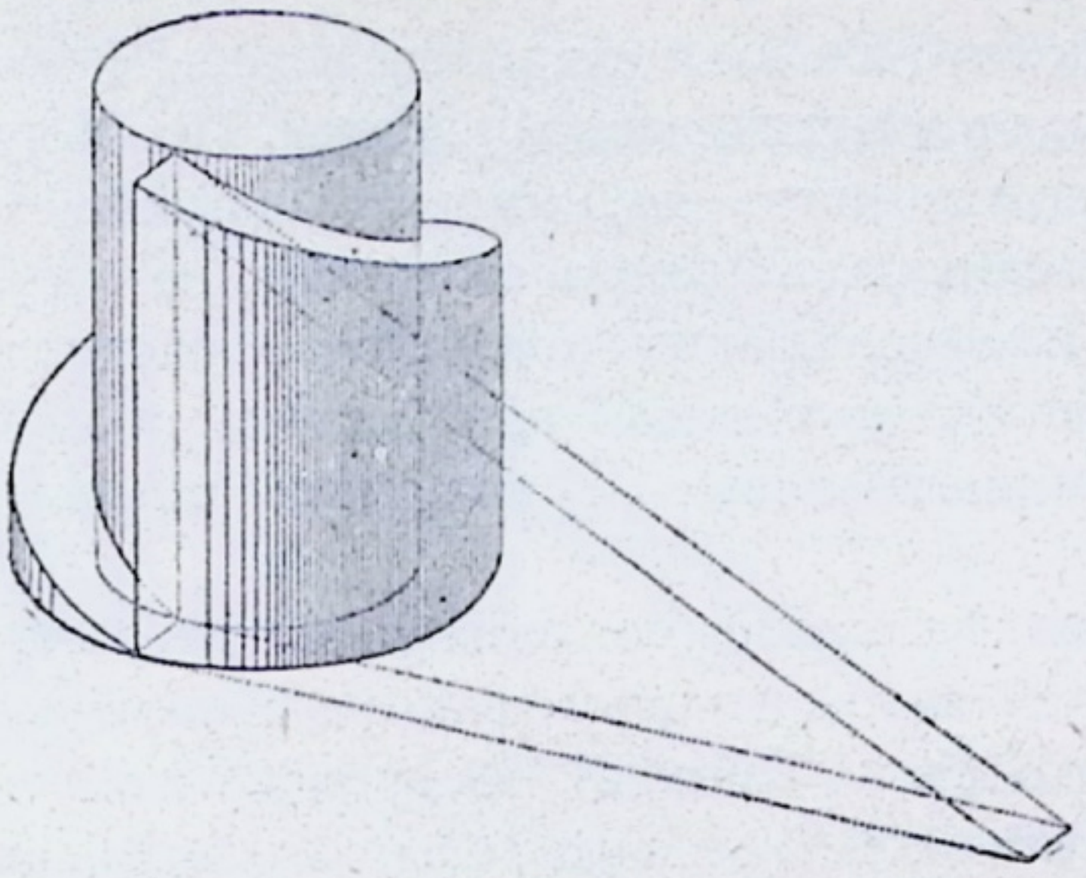
как бы изъ двухъ наклонныхъ плоскостей, имѣющихъ общее основаніе. Клинъ, очевидно, тѣмъ легче будетъ проникать въ тѣло, чѣмъ острѣе уголъ ACD.

Клинъ служитъ для раскалыванья дерева, для поднманія грузовъ, для сжиманія и для неподвижнаго закрѣпленія тѣлъ. Стамеска, ножъ, ножницы, гвозди, иглы и т. п. представляютъ различные виды клина.

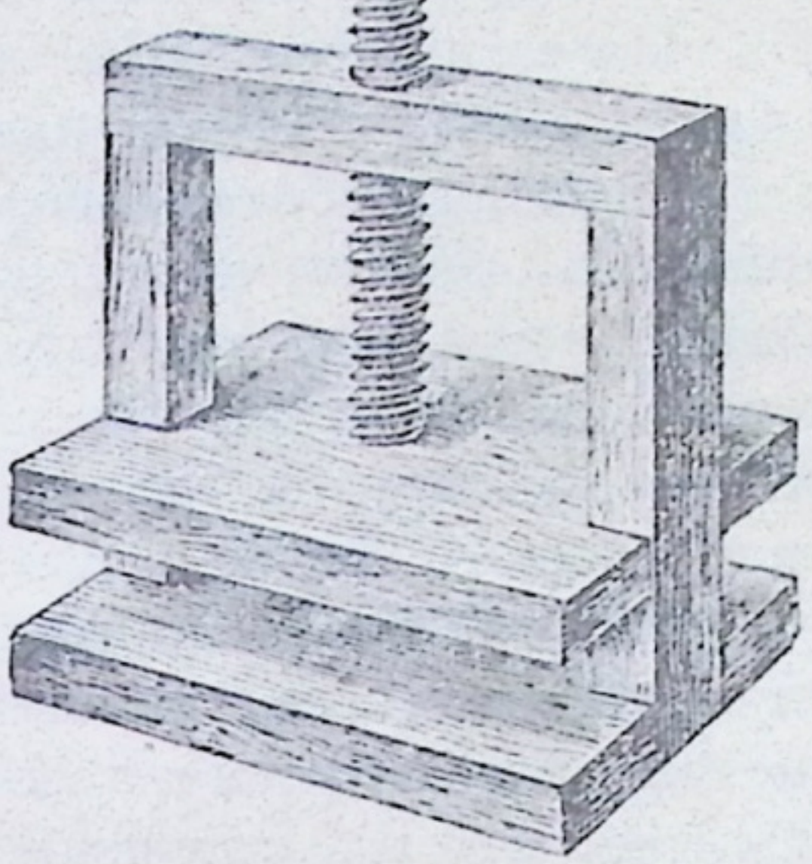
Винтъ можно разсматривать, какъ наклонную плоскость, навернутую на цилиндръ-стержень. На фиг. 228 показано, какъ при такомъ навертываніи получается одинъ «витокъ», т. е. часть нарѣзки винта, соотвѣтствующая длинѣ наклонной плоскости. Сравните съ этимъ происхожденіе винтовой лѣстницы изъ обыкновенной

прямолинейной, наклонно идущей вверхъ лѣстницы! Винтъ съ выпуклой и съ врѣзанной нарѣзкой. — Винтъ и гайка (фиг. 226 и 227). — Изъ свойствъ наклонной плоскости вытекаетъ, что выигрышъ въ силѣ при винтѣ тѣмъ больше, чѣмъ положе идетъ винтовая нарѣзка.

Часто примѣняется винтъ въ соединеніи съ рычагомъ или воротомъ въ ви-



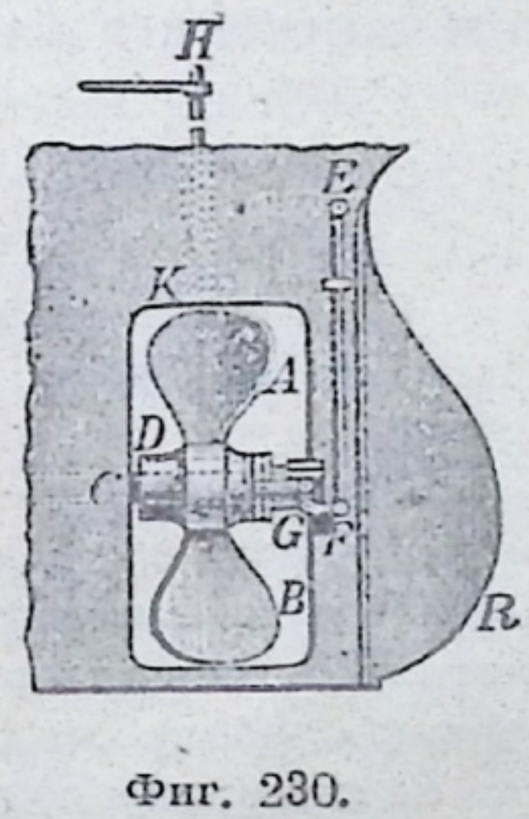
Фиг. 228.



Фиг. 229.

дѣ винтового пресса (фиг. 229). Послѣдній широко примѣняется въ литографіяхъ, переплетныхъ мастерскихъ, для выжиманія сока изъ винограда; часто такой прессъ служитъ въ качествѣ копировальнаго пресса, онъ употребляется для прессованія салфетокъ, игральныхъ картъ и т. д.

Особый видъ винта представляетъ корабельный винтъ (фиг. 230), впервые примѣненный въ 1829 г. Іосифомъ Рессселемъ (род. въ Хрудимѣ въ Богеміи). Этотъ винтъ состоитъ изъ широкихъ лопастей, расположенныхъ на горизонтальной оси по винтовой линіи. Такой винтъ приводится въ быстрое вращеніе при помощи паровой машины. Вода, плотно облегающая винтъ, образуетъ для него какъ бы соотвѣтствующую гайку. Какъ обыкновенный винтъ, который мы вращаемъ посредствомъ отвертки, движется въ деревѣ впередъ по направленію своей оси, точно такъ же и корабельный винтъ, ввинчиваясь въ окружающую массу воды, движется впередъ и вслѣдствіе этого толкаетъ впередъ все судно. Корабельный винтъ устраивается въ задней подводной части корабля глубоко, такъ чтобы и при сильномъ волненіи онъ могъ оставаться неизмѣнно подъ водой.



Фиг. 230.

141. **Работа.** Когда мы несемъ грузъ вверхъ по подъему, то мы на всемъ своемъ пути должны преодолѣвать дѣйствіе вѣса груза; мы преодолѣваемъ при этомъ то сопротивленіе, которое сила тяжести оказываетъ поднятію груза. Если мы будемъ двигать этотъ грузъ по землѣ на горизонтальной плоскости, то намъ, конечно, не придется, какъ въ предыдущемъ примѣрѣ, поднимать этотъ грузъ, преодолѣвая дѣйствіе его вѣса; но однако, мы должны будемъ на протяженіи всего пути преодолѣвать сопротивленіе тренія.

Преодолѣваніе какого-либо сопротивленія на какомъ-либо пути называется **механической работой.** Поэтому механическая работа совершается, когда поднимаютъ камень съ помощью рычага, когда вытаскиваютъ ведро съ водой изъ колодца, когда при струганіи преодолѣваютъ сцѣпленіе частицъ дерева, когда по дорогѣ везутъ нагруженный возъ, когда поднимаются въ гору, когда поднимаютъ вверхъ грузъ при помощи неподвижнаго блока и т. д.

Работа, при которой преодолѣвается сопротивленіе въ 1 **кгр** на протяженіи 1 **м**, принимается за единицу работы и называется килограммометромъ. Такимъ образомъ, килограммометръ служитъ мѣрой механической работы. Если 1 **кгр** поднимаютъ на высоту 2, 3, 4... **м**, то совершаютъ работу въ 2, 3, 4 **килограммометра.** Если 8 **кгр** поднимаютъ на высоту 3 **м**, то совершаютъ работу въ 24 **килограммометра**, т. е работу, равную той, которая совершается при поднятіи 1 **кгр** на 24 **м** или 24 **кгр** на 1 **м**.

Слѣдовательно, механическая работа (P) есть произведеніе преодолѣваемой силы на пройденный путь, т. е. $P = C . П$.

Если одинъ рабочій подниметь 50 **кгр** на 2 **м**, другой 25 **кгр** на 4 **м**, а третій 100 **кгр** на 1 **м**, то каждый изъ нихъ совершитъ одну и ту же работу. Почему?

Задачи. 1. Какая работа совершена при поднятіи 48 **гектолитровъ** ржи, каждый вѣсомъ въ 72 **кгр** въ амбаръ, поднятый надъ землей на 10 **м**? 2. Какую работу нужно совершить, чтобы взнести человѣка вѣсомъ въ 80 **кгр** по двумъ лѣстницамъ, изъ которыхъ каждая имѣетъ по 40 ступеней въ 20 саж. высоты? 3. Какую работу совершаетъ туристъ, вѣсящій 70 **кгр** и имѣющій на себѣ ранецъ въ 8 **кгр**, при подъемѣ на гору въ 2000 **м** высоты?

Лошадь средней силы можетъ въ теченіе каждой секунды преодолѣвать сопротивленіе въ 75 **кгр** на протяженіи 1 **м**, т. е. совершить дѣйствіе или эффектъ*) въ 75 **килограммометровъ.** Эта величина 75 **килограммометровъ** въ

---

*) Эффектомъ называется работа, произведенная въ единицу времени.
(Перев.)

секунду называется лошадиной силой. Эффектъ (мощность) машинъ обыкновенно выражается въ лошадиныхъ силахъ. Машина «въ 100 лошадиныхъ силъ» значитъ: машина, въ каждую секунду совершающая работу въ 100×75 **килограммометровъ** $= 7500$ **килограммометровъ**. Такую работу совершилъ бы, напр., паровозъ, если бы сопротивленіе поѣзда равнялось 2500 **кгр**, а проходимое въ секунду пространство — 3 **м**.

Задача. На какую высоту паровая машина въ 4 лошадиныхъ силы можетъ поднимать въ теченіе каждой секунды 450 **литр.** воды.

142. **Машина.** При помощи уже извѣстныхъ намъ приспособленій: рычага (блока, ворота) и наклонной плоскости (клина, винта), можно любымъ образомъ измѣнять точку приложенія, направленіе и величину имѣющейся въ нашемъ распоряженіи силы (мышечной силы человѣка и животныхъ, силы воды, вѣтра и т. д.) и при помощи такой силы преодолѣвать сопротивленіе (двигать грузъ). Всякое приспособленіе, съ помощью котораго мы можемъ достигать этого, называется **машиной**. Мы различаемъ простыя и сложныя машины; въ послѣднія входятъ такія составныя части, которыя уже сами по себѣ представляютъ машины (полиспастъ, винтовой прессъ).

Простыя машины суть: рычагъ, блокъ, воротъ, наклонная плоскость, клинъ и винтъ.

Машины примѣняются для совершенія при помощи ихъ работы, при этомъ можно различать работу силы и работу груза. Но для каждой машины можно доказать, что работа силы равна работѣ груза. Поэтому никогда нельзя при помощи машины выиграть въ работѣ. Съ помощью этихъ приспособленій мы можемъ только уменьшать одинъ изъ сомножителей въ произведеніи силы на пройденный путь; но при такомъ уменьшеніи тѣмъ самымъ и въ той же мѣрѣ увеличивается другой сомножитель. Если, напр., уменьшить вдвое силу, то зато вдвое же увеличится пройденный путь. Если уменьшить силу въ 5 разъ, то путь, пройденный ея точкой приложенія, увеличится въ пять разъ. Для поднятія груза, напр., съ помощью полиспаста о шести блокахъ необходима сила, равная лишь $^1/_6$ вѣса этого груза, но зато для того, чтобы поднять грузъ на 1 **м**, мы должны свободный конецъ каната полиспаста оттянуть внизъ на 6 **м**. Такимъ образомъ, что выигрывается въ силѣ, то теряется на пройденномъ пространствѣ или, другими словами въ скорости. (Золотое правило механики). Потвердите это правило еще другими примѣрами для различныхъ машинъ!

Соотвѣтственно вышеизложенному мы можемъ раздѣлить всѣ примѣненія машинъ на двѣ группы. Въ машинахъ первой группы мы можемъ съ помощью меньшей силы преодолѣвать сопротивленіе большаго груза; въ нихъ мы выигрываемъ въ силѣ, но теряемъ въ скорости. Къ этой группѣ принадлежатъ, между прочимъ, щипцы для раскалыванія орѣховъ, подвижный блокъ, по-

лиспастъ, воротъ, брусья для вкатыванья и скатыванья тяжелыхъ бочекъ, винтовой прессъ и проч. Ихъ можно бы назвать усиливающими машинами. Механическая выгода отъ нихъ состоитъ въ сбереженіи или выигрышѣ въ силѣ.

Въ машинахъ второй группы мы хотя проигрываемъ въ силѣ, но зато выигрываемъ въ скорости. Съ такимъ результатомъ мы встрѣчаемся, напр., у косы, у предплечья человѣка, у подвижнаго блока, къ которому подвѣшена гиря часовъ, у точильнаго станка, у велосипеда, у сверла и проч. Этого рода приспособленіямъ можно бы дать названіе ускоряющихъ машинъ, такъ какъ механическая выгода при нихъ заключается въ выигрышѣ въ скорости.

Въ дѣйствительности количество работы, которое можно получить отъ машины, никогда не равно точно количеству работы, получаемому нами посредствомъ вычисленій, такъ какъ въ послѣднихъ мы не принимаемъ во вниманіе препятствій движенію (тренія, сопротивленія веревки при сгибаніи и т. п.).

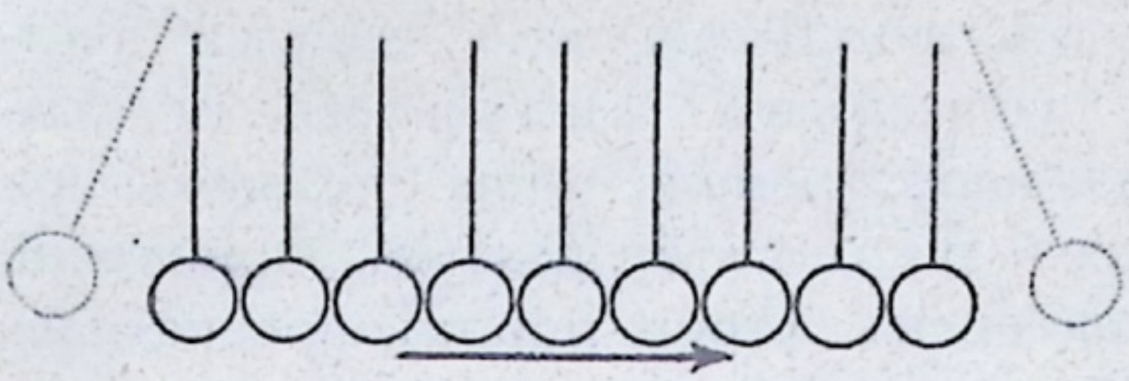
143. **Ударъ.** *а*) Если движущееся тѣло сталкивается съ другимъ тѣломъ, также движущимся или находящимся въ состояніи покоя, то въ теченіе весьма короткаго времени будетъ совершаться взаимодѣйствіе силъ, приложенныхъ къ этимъ тѣламъ, въ результатѣ котораго происходятъ измѣненія какъ въ формѣ, такъ и въ скоростяхъ столкнувшихся тѣлъ. Это взаимодѣйствіе тѣлъ называется **ударомъ** тѣлъ. Разсмотримъ только нѣкоторые простые случаи этого явленія на нижеслѣдующихъ примѣрахъ.

б) Если упругій шаръ (напр. шаръ изъ слоновой кости) ударяетъ въ другой такой же упругій шаръ, имѣющій одинаковую съ первымъ массу, но находящійся въ состояніи покоя, то ударившій шаръ останавливается, а получившій отъ него ударъ второй шаръ начинаетъ двигаться съ той же скоростью, какую имѣлъ до удара первый шаръ. Такимъ образомъ, этотъ опытъ показываетъ, что ударившій шаръ всю свою скорость передалъ получившему ударъ шару.

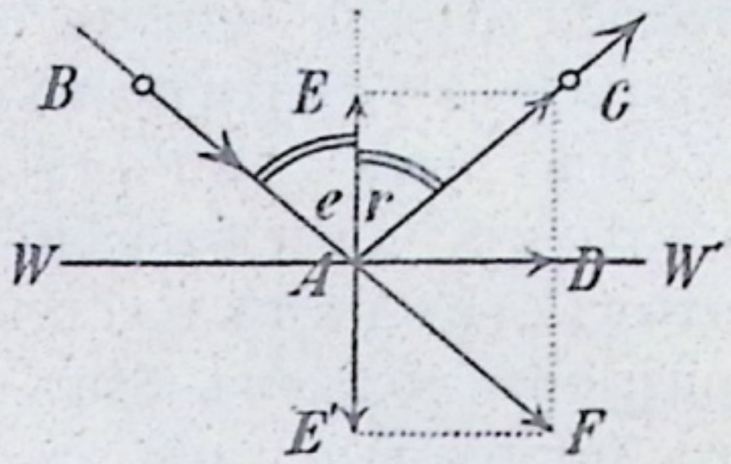
в) Поэтому, если нѣсколько равныхъ упругихъ шаровъ подвѣсить въ одинъ горизонтальный рядъ (фиг. 231) и выведя первый изъ нихъ изъ состоянія равновѣсія, пустить его такъ, чтобы онъ ударился о второй шаръ, то только послѣдній шаръ отскочитъ въ сторону, всѣ же остальные, въ томъ числѣ и первый, останутся въ состояніи покоя. Согласно предыдущему опыту, каждый шаръ всю пріобрѣтенную имъ скорость передаетъ ближайшему къ нему по направленію удара шару.

г) Если упругій шаръ ударится перпендикулярно о стѣну, то вся его скорость, переданная имъ послѣдней, возвращается къ нему, но по обратному направленію. Дѣйствительно, онъ отскочитъ отъ стѣны обратно съ тою же скоростью, съ какой двигался къ стѣнѣ.

д) Если упругій шаръ ударится о стѣну не перпендикулярно, а наклонно къ ней, то онъ отскочитъ отъ стѣны также по наклонной (фиг. 232). Въ этомъ случаѣ скорость шара въ точкѣ удара A, изображенная на фиг. въ видѣ прямой AF, можно разложить на двѣ слагающія AD и AE'. Слагающая AD останется послѣ удара безъ измѣненія, тогда какъ слагающая AE' превратится въ слагающую AE, равную AE' по величинѣ, но направлен-



Фиг. 231.



Фиг. 232.

ную въ прямо противоположную сторону. Но AD и AE послѣ дара дадутъ вмѣстѣ равнодѣйствующую скорость AG, по величинѣ равную AF. Изъ равенства треугольниковъ ADF и ADG слѣдуетъ равенство угловъ e и r. Если перпендикуляръ EE', возставленный въ точкѣ A паденія шара къ плоскости WW', назовемъ перпендикуляромъ въ точкѣ паденія, а углы, составляемые съ этимъ перпендикуляромъ направленіями шара до и послѣ удара—угломъ паденія и угломъ отраженія, то, согласно предыдущему, получимъ слѣдующій **законъ отраженія:** Уголъ отраженія равенъ углу паденія. Направленіе отраженія лежитъ въ одной плоскости, плоскости паденія, съ направленіемъ паденія и съ перпендикуляромъ въ точкѣ паденія.

X. О звукѣ. (Акустика).

---

144. **Возникновеніе звука.** *а*) Впечатлѣнія, получаемыя нами съ помощью органа слуха (уха), мы называемъ **звуковыми явленіями** или короче **звукомъ.** Такъ напр., мы слышимъ щелканье бича, грохотъ при взрывѣ порохового патрона, происшедшемъ или просто при воспламененіи одного патрона, или же при выстрѣлѣ изъ пушки или пистолета. Мы слышимъ, затѣмъ, стукъ экипажа, ѣдущаго по неровной мо-

стовой, стукъ горошинъ, ударяющихся при сильномъ встряхиваніи о стѣнки коробочки. Мы слышимъ, наконецъ, звонъ колокола (или стакана), по которому произведенъ ударъ молоточкомъ, тонъ камертона, которымъ ударили о доску стола. Во всѣхъ этихъ случаяхъ имѣется опредѣленное тѣло, которое вызываетъ явленіе звука. Оно называется **возбудителемъ звука** (бичъ, пороховые газы, экипажъ, горошины, колоколъ, камертонъ). Всегда можно доказать, что для того, чтобы мы могли воспринять звукъ, возбудитель звука долженъ находиться въ довольно сильномъ и быстромъ движеніи. Такъ напр., ремень бича долженъ при этомъ двигаться, съ силой разсѣкая воздухъ; пороховой патронъ долженъ быть воспламененъ, чтобы порохъ превратился въ пороховые газы, съ силой вырывающіеся изъ пространства, въ которомъ они оказываются какъ бы сжатыми; точно также въ движеніи находятся катящійся по мостовой экипажъ и встряхиваемыя въ коробочкѣ горошины. Труднѣе всего замѣтить движеніе колокола и камертона. Однако и это возможно, если мы осторожно едва-едва прикоснемся пальцемъ къ краю колокола или къ концамъ вѣтвей камертона; при этомъ мы ощутимъ дрожаніе этихъ тѣлъ. Еще наглядн҃е можно показать движеніе въ звучащихъ колоколѣ и камертонѣ, прикасаясь къ нимъ очень легкимъ, маленькимъ сургучнымъ или еще лучше полымъ стекляннымъ шарикомъ, подвѣшеннымъ на тонкой нити. Замѣчаемое нами при этомъ сильное отталкиваніе шарика обоими этими тѣлами, даетъ намъ право заключить, что и въ этихъ двухъ случаяхъ возбудитель звука находится въ состояніи весьма быстраго движенія.

б) Предыдущіе примѣры при ближайшемъ разсмотрѣніи распадаются на три группы. Возбудители звука, относящіеся къ первой группѣ (бичъ, пороховые газы) находятся въ весьма сильномъ движеніи, которое длится, однако, лишь очень короткое время. Такого рода звукъ весьма малой продолжительности называется **щелканьемъ, трескомъ** и т. д.

Въ примѣрахъ, относящихся ко второй группѣ (экипажъ, горошины) возбудитель звука находится въ состояніи болѣе продолжительнаго, но неправильнаго движенія. Въ результатѣ получается длительный звукъ, называемый **шумомъ.**

Для отдѣльныхъ видовъ этихъ шумовъ въ языкѣ имѣется много названій (частью образныхъ, поэтическихъ), какъ напр., бряцанье, грохотаніе, шелестъ, раскаты, дребезжаніе, свистъ, шипѣніе, гудѣніе, чириканье, завываніе, шорохъ и т. д. (Приведите примѣры).

Чтобы ближе разсмотрѣть характеръ движенія, происходящаго въ возбудителяхъ звука третьей группы, сдѣлаемъ такой опытъ. Вязальную спицу, укрѣпленную на концѣ стола такимъ образомъ, что большая ея часть выдается за край стола, выводятъ изъ положенія равновѣсія, при чемъ конецъ ея отгибаютъ книзу, а затѣмъ быстро выпускаютъ изъ руки. При этомъ можно видѣть, что спица совершаетъ быстрыя движенія вверхъ и внизъ, напоминающія движенія маятника (§ 130). Мы называемъ такія движенія колебательными. При этомъ мы можемъ еще замѣтить, что спица совершаетъ сравнительно медленныя движенія, если ея свободная колеблющаяся часть длинна; въ этомъ случаѣ мы не слышимъ никакого звука. Если же мы будемъ дѣлать свободный, выступающій надъ краемъ стола конецъ спицы все болѣе и болѣе короткимъ, то колебанія спицы сдѣлаются вскорѣ такъ быстры, что мы уже не въ состояніи отчетливо различать отдѣльныя положенія спицы; только теперь мы начинаемъ слышать **длящійся звукъ** (тонъ), который становится тѣмъ выше, чѣмъ короче колеблющаяся часть и чѣмъ быстрѣе происходятъ колебанія. (Сравните съ маятникомъ). Итакъ, чтобы возникъ такой звукъ, возбудитель звука долженъ совершать довольно продолжительныя и правильныя (колебательныя) движенія, и послѣднія должны довольно быстро слѣдовать одно за другимъ.

Звукъ возникаетъ, слѣдовательно, всегда вслѣдствіе движенія, но не всякое движеніе производитъ звукъ.

145. **Распространеніе звука**. *а*) Если мы приложимъ ухо къ одному концу довольно длиннаго ($1^1/_2$ **м**) деревяннаго бруска, на другомъ концѣ котораго будемъ держать карманные часы, то мы совершенно ясно услышимъ тиканье часовъ; если же удалимъ брусокъ отъ уха, то мы уже не будемъ слышать тиканья. Очевидно, деревянный брусокъ проводитъ звукъ отъ возбудителя звука къ нашему уху; поэтому мы называемъ его **проводникомъ звука** (звуковой средой). При небольшомъ отдаленіи мы слышимъ тиканье часовъ и безъ посредства деревяннаго **бруска**; такъ какъ въ этомъ случаѣ между возбудителемъ звука и нашимъ органомъ слуха находится только воздухъ, то и послѣдній является проводникомъ звука.

Если подъ колоколъ воздушнаго насоса помѣстить электрическій звонокъ, то звонъ послѣдняго съ увеличеніемъ разрѣженія воздуха будетъ все слабѣе и слабѣе и наконецъ становится едва слышнымъ.

Проводникъ звука, или звуковая среда, долженъ быть способенъ какъ бы воспринимать движенія возбудителя звука и проводить, передавать ихъ нашему уху. Къ этому способны только упругія тѣла во всѣхъ состояніяхъ (твердомъ, жидкомъ и газообразномъ).

Какія средства примѣняются для того, чтобы сдѣлать двери возможно болѣе непроницаемыми для звука? Ударъ камня о камень, звонъ большого колокола, произведенные подъ водой, слышны намъ, если мы нырнемъ въ воду, такъ же хорошо, какъ и въ томъ случаѣ, когда эти звуки происходятъ въ воздухѣ. Можно слышать черезъ стѣны, полъ, закрытыя двойныя окна; звукъ распространяется черезъ рельсы, черезъ землю и т. д.

б) Опытъ съ вязальной спицей (§ 144) показываетъ, что послѣдняя вслѣдствіе своей упругости быстро возвращается въ первоначальное положеніе, переходитъ отъ него въ обратную сторону и т. д., когда сила, выведшая ее изъ этого положенія, перестаетъ дѣйствовать. Своими быстрыми движеніями въ ту и другую сторону спица отодвигаетъ воздухъ и, такимъ образомъ, приводятся въ движеніе и сами частички воздуха. Когда спица изгибается въ какую-либо сторону, то воздухъ на этой сторонѣ сгущается. Въ слѣдующій моментъ спица быстро движется въ обратную сторону, и тѣ же самыя частички воздуха устремляются за нею; благодаря этому, въ томъ мѣстѣ, гдѣ раньше воздухъ сгустился, теперь происходитъ разрѣженіе воздуха. Эти перемѣнныя сгущенія и разрѣженія воздуха вызываютъ такія же измѣненія во всѣхъ прилегающихъ слояхъ воздуха; они распространяются равномѣрно по всѣмъ направленіямъ.

Весьма наглядную картину такого распространенія сгущенія и разрѣженія воздуха даетъ намъ хлѣбное поле, колосья котораго качаетъ вѣтеръ. Каждый колосъ совершаетъ движеніе, подобное движенію нашей вязальной спицы. Если мы будемъ смотрѣть на поле съ возвышенія, то увидимъ возникающія сгущенія и слѣдующія за ними разрѣженія въ формѣ различныхъ свѣтлыхъ полосъ, передвигающихся по всей поверхности поля по направленію вѣтра. Подобнымъ же образомъ, въ правильной послѣдовательности, начинаясь отъ возбудителя звука, распространяются сгущенія и разрѣженія и въ воздухѣ, при чемъ каждая частичка послѣдняго, подобно колосьямъ въ предыдущемъ примѣрѣ, въ своихъ колебаніяхъ отходитъ въ ту и другую сторону лишь на извѣстное разстояніе, снова возвращаясь къ своему первоначальному положенію при каждомъ колебаніи. — Сравните съ этимъ описанный въ § 143 опытъ съ распространеніемъ удара по ряду соприкасающихся упругихъ шаровъ!

Такъ какъ большіе колокола церкви, находящейся въ серединѣ города, мы слышимъ по всему городу, то мы должны

признать, что звукъ распространяется по всѣмъ направленіямъ. Сгущеніе и разрѣженіе при этомъ ослабѣваютъ съ увеличеніемъ разстоянія отъ исходной точки движенія. Поэтому мы слышимъ звукъ всегда только до извѣстнаго разстоянія отъ возбудителя звука (Ср. также § 143).

в) Сгущеніе воздуха вмѣстѣ съ непосредственно слѣдующимъ за нимъ разрѣженіемъ, изъ которыхъ каждое распространяется равномѣрно по всѣмъ направленіямъ, мы называемъ **звуковой волной.** Если звуковая волна попадаетъ въ наше ухо, мы слышимъ звукъ.

Явленія, подобныя распространенію звука, наблюдаются также и при волнообразномъ движеніи воды. За каждымъ подъемомъ волны (гребень) слѣдуетъ впадина, при чемъ и то и другое распространяются изъ общаго центра все болѣе и болѣе широкими кругами. Кусокъ дерева, плавающій на поверхности воды, при этомъ то поднимается, то опускается, но не плыветъ впередъ по направленію распространенія волнообразнаго движенія. Высота подъема волнъ и глубина впадинъ уменьшаются тѣмъ больше, чѣмъ дальше онѣ находятся отъ исходнаго пункта движенія. Волнообразное движеніе воды распространяется только по горизонтальному направленію, тогда какъ сгущеніе и разрѣженіе воздуха распространяется по всѣмъ направленіямъ, т. е. не по кругамъ, какъ волны воды, а по шаровымъ поверхностямъ.

146. **Сила звука.** Различные виды звуковыхъ впечатлѣній, которыя мы испытываемъ, приводятъ насъ къ выводу, что звукъ не всегда бываетъ одинаковой силы. Такъ напр., большой колоколъ даетъ болѣе сильный звукъ, чѣмъ маленькій, звукъ выстрѣла изъ пушки сильнѣе, чѣмъ изъ пистолета. Точно также звонъ колокола будетъ различной силы, смотря по тому, стукнемъ ли мы по колоколу суставомъ пальца или же молоточкомъ, а также смотря по тому, сильнѣе или слабѣе будетъ ударъ, произведенный нами. Мы должны, слѣдовательно, признать, что при свободномъ колебаніи возбудителя звука **сила звука**, при прочихъ равныхъ условіяхъ, возрастаетъ съ увеличеніемъ массы звучащаго тѣла и что она тѣмъ больше, чѣмъ въ болѣе сильныя колебанія приведенъ возбудитель звука.

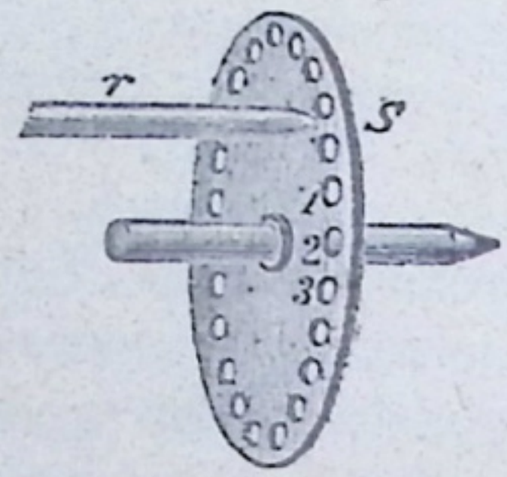
Сила звукового впечатлѣнія, при прочихъ равныхъ условіяхъ, будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше разстояніе, на которомъ мы находимся отъ возбудителя звука. При возрастаніи этого разстоянія въ 2, 3, 4 раза, сила уменьшается до $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$ тоій величины, которая имѣлась на разстояніи, равномъ 1.

Это станетъ понятнымъ для насъ, если мы вспомнимъ, что число частицъ проводника звука, приводимыхъ одновременно въ колебаніе, возрастаетъ въ томъ же отношеніи, въ какомъ увеличиваются поверхности шарообразныхъ волнъ.

Какъ извѣстно, при возрастаніи радіуса въ 2, 3, 4... раза, поверхность шара увеличивается въ 4, 9, 16... разъ, а потому, согласно вышесказанному, сила звука должна уменьшаться въ 4, 9, 16... разъ.

Замѣтимъ еще, что звонъ колоколовъ, свистки паровозовъ и пр. зимой мы слышимъ на большихъ разстояніяхъ, чѣмъ лѣтомъ, что звукъ пистолетнаго выстрѣла при стрѣльбѣ на высокихъ горахъ гораздо слабѣе, чѣмъ въ долинахъ; съ другой же стороны, водолазъ, находясь въ водолазномъ колоколѣ, вынужденъ говорить только тихимъ шопотомъ, такъ какъ звукъ обыкновенно произнесеннаго слова становится подъ колоколомъ невыносимо громкимъ. Все это показываетъ, что сила звука должна зависѣть также отъ плотности проводящей его среды; чѣмъ плотнѣе послѣдняя, тѣмъ сильнѣе, при прочихъ равныхъ условіяхъ, звукъ.

147. **Высота звука. Гамма.** Возьмемъ картонный или металлическій кружокъ *S* (фиг. 233), въ которомъ продѣланы равныя и находящіяся на одинаковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга отверстія (1, 2, 3...), расположенныя въ видѣ нѣсколькихъ, напр. восьми, концентрическихъ окружностей *). Если такой кружокъ быстро, но равномѣрно вращать вокругъ оси, перпендикулярной къ его плоскости и проходящей черезъ его центръ, и во время его движенія направлять на вращающіяся отверстія струю воздуха, продуваемаго перпендикулярно къ плоскости кружка черезъ трубочку *r*, то для каждаго ряда отверстій мы услышимъ нѣкоторый тонъ. Если вращать кружокъ быстрѣе, тонъ повышается. Всякій разъ, когда отверстіе этого кружка, называемаго сиреной, проходитъ передъ трубочкой, воздухъ находящійся за кружкомъ, получаетъ ударъ, сейчасъ же прерывающійся, какъ только мимо трубки проходитъ непродырявленное мѣсто кружка. Каждый такой ударъ, сообщаемый воздуху, приводитъ послѣдній въ движеніе, распространяющееся въ видѣ шаровой волны во всѣ стороны и доходящее до нашего уха. Если внутренняя изъ восьми концентрическихъ окружностей имѣетъ 24 отверстія, а слѣдующія окружности соотвѣтственно 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48 отверстій, то струя воздуха, дѣйствуя на каждый рядъ, производитъ восемь



Фиг. 233.

*) На фиг. 233, чтобы не усложнять рисунка, изображенъ только одинъ такой рядъ отверстій. Вмѣсто круглыхъ отверстій, изображенныхъ на фиг., выгоднѣе дѣлать продолговатыя узкія щели.

звуковъ различной высоты, представляющихъ рядъ звуковъ, характеръ котораго остается безъ измѣненія при всякой скорости вращенія. Наиболѣе низкій и наиболѣе высокій звуки этого ряда, если ихъ произвели одновременно, обнаруживаютъ такое поразительное сходство между собой, что мало опытное ухо едва можетъ отличать одинъ отъ другого. Этотъ опытъ съ сиреной показываетъ, что **высота звука** зависитъ отъ числа колебаній тѣла; изъ него же мы видимъ, какъ возрастаетъ это число колебаній. Звуки, въ которыхъ мы можемъ различать ихъ высоту, называются также тонами. Если какому-либо тону соотвѣтствуетъ въ теченіе одного и того же промежутка времени вдвое большее число колебаній, чѣмъ другому, то первый тонъ называется октавой послѣдняго, носящаго названіе основного тона; находящіеся между основнымъ тономъ и его октавой тоны образуютъ въ своей послѣдовательности **гамму**. Различіе въ высотѣ двухъ тоновъ называется интерваломъ. Самый низкій тонъ гаммы мы называемъ основнымъ тономъ, или примой, слѣдующіе тоны, расположенные по возрастающей высотѣ,—секундой, терціей, квартой, квинтой, секстой, септимой и октавой, т. е. какъ бы 1-ой, 2-ой, 3-ьей, 4-ой, 5-ой 6-ой, 7-ой и 8-ой ступенью лѣстницы тоновъ *).

Тоны гаммы обозначаются буквами: *C, D, E, F, G, A, H, c.* Самый низкій звукъ, который можетъ слышать человѣческое ухо, производится приблизительно 60 простыми колебаніями въ секунду, самый высокій еще воспринимаемый нашимъ ухомъ звукъ получается при, приблизительно, 60.000 — 80.000 простыхъ колебаній въ секунду. Въ музыкѣ, однако, употребляются только 7 октавъ, а именно тоны, лежащіе между тонами, производимыми 64 и приблизительно 8.000 простыхъ колебаній въ секунду. Тонъ *la*, по которому настраиваются наши музыкальные инструменты, (нормальное *A*, тонъ камертона) вызывается 870 простыми или 435 полными (двойными) колебаніями въ секунду.

Тоны гаммы по своей высотѣ относятся другъ къ другу слѣдующимъ образомъ:

Прима или do (C), секунда или re (D), терція или mi (E), кварта или fa (F),

$$24 : 27 : 30 : 32 :$$

$$\text{или } 1 : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} :$$

квинта или sol (G), секста или la (A), септима или si (H), октава или do (C)

$$: 36 : 40 : 45 : 48$$

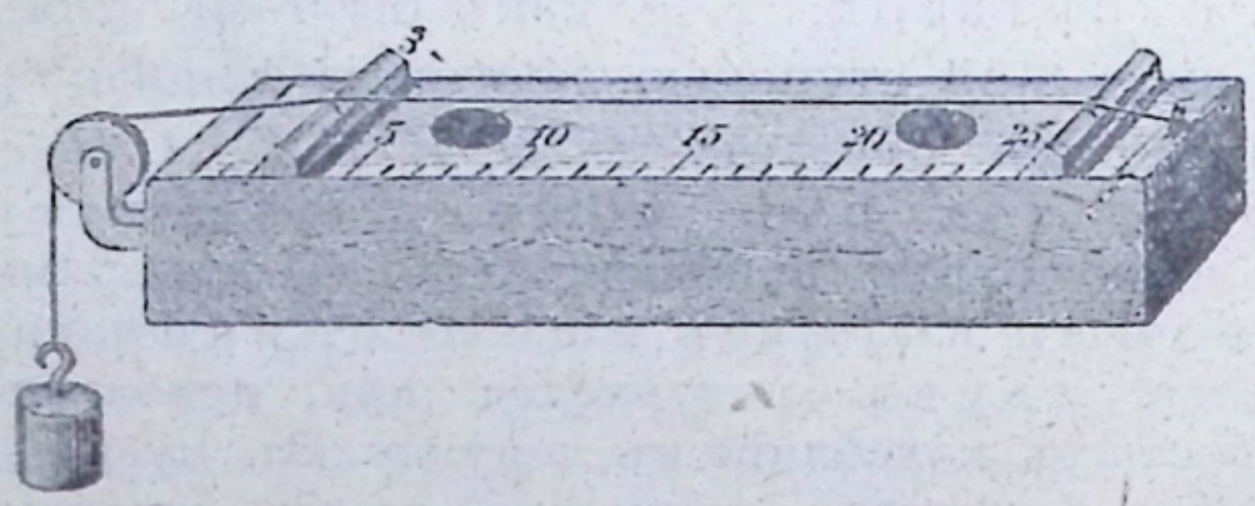
$$: \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8} : 2.$$

---

*) Въ музыкѣ для этихъ 8 тоновъ употребляются еще слѣдующія названія (отъ примы къ октавѣ): do, re, mi, fa, sol, la, si, do (верхнее).

Второй рядъ чиселъ мы получимъ изъ перваго, раздѣливъ каждое число перваго ряда на 24. Если мы сравнимъ числа колебаній отдѣльныхъ тоновъ съ числомъ колебаній основного тона, то окажется, что наиболѣе простое отношеніе существуетъ между основнымъ тономъ и октавой, а именно 1 : 2, т. е. на каждое одно колебаніе основного тона приходится въ теченіе того же времени два колебанія октавы. Какъ мы уже упоминали, основной тонъ и октава наиболѣе сходны между собой; они образуютъ самое чистое созвучіе или самый чистый консонансъ, аккордъ. Простыя отношенія существуютъ также между основнымъ тономъ и квинтой $\left(1 : \frac{3}{2} = 2 : 3\right)$, между основнымъ тономъ и квартой $\left(1 : \frac{4}{3} = 3 : 4\right)$, между основнымъ тономъ и секстой $\left(1 : \frac{5}{3} = 3 : 5\right)$, между основнымъ и терціей $\left(1 : \frac{5}{4} = 4 : 5\right)$. Всѣ эти тоны образуютъ съ основнымъ болѣе или менѣе чистыя созвучія. Отношеніе между основнымъ тономъ и секундой $\left(1 : \frac{9}{8} = 8 : 9\right)$, а также между нимъ и сентимой $\left(1 : \frac{15}{8} = 8 : 15\right)$ уже далеко не такъ просты; эти ноты не сливаются съ основнымъ тономъ, не образуютъ съ нимъ аккорда, а наоборотъ даютъ диссонансъ. Изъ этого мы выводимъ, что созвучіе (аккордъ) тоновъ тѣмъ пріятнѣе для нашего уха, чѣмъ проще отношеніе чиселъ колебаній этихъ тоновъ.

148. **Тоны натянутыхъ струнъ.** Для полученія тоновъ пользуются упругими тѣлами, которыя легко привести въ колебаніе. Такъ напр., посредствомъ скрипичнаго смычка приводятъ въ колебаніе струну, натянутую на призматическомъ деревянномъ ящикѣ (фиг. 234), смычкомъ проводятъ по части струны, находящейся между двумя подставками, «кобылками». (Такой приборъ называется монохордомъ). Струна при этомъ издаетъ тонъ.



Фиг. 234.

Доказать колебанія струны можно, помѣщая на ней маленькіе бумажные рейтеры, т. е. изогнутыя въ формѣ $\wedge$ полоски бумаги.

Благодаря примѣненію полаго деревяннаго ящика тонъ струны значительно усиливается (резонаторъ) (ср. § 153).

Если теперь мы передвинемъ одну изъ кобылокъ такъ, чтобы звучала только половина, $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$ и т. д. длины, то послѣдняя дастъ октаву, квинту, кварту, терцію и т. д. прежняго тона (основного тона).

Замѣнимъ теперь струну, не измѣняя натягивающаго ее груза, болѣе тонкой струной такой же длины и изъ того же матерьяла; тонъ повисится.

Увеличимъ затѣмъ вѣсъ гири, натягивающей струну. И въ этомъ случаѣ тонъ повысится.

Если натяженіе увеличивается вчетверо, то получается слѣдующая верхняя октава.

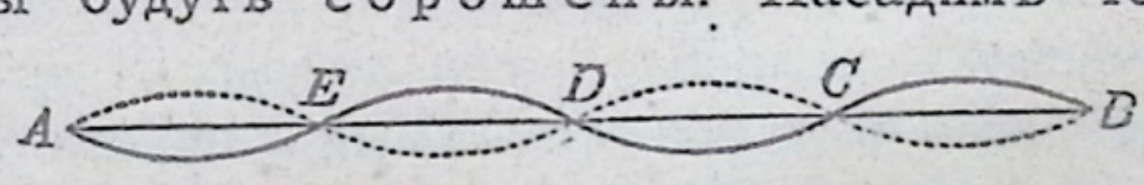
Если, наконецъ, мы возьмемъ двѣ струны изъ различнаго матрьяла (напр., серебряную и алюминевую), но равной толщины и равной длины и натянутыхъ каждая гирей одного и того же вѣса, то струна изъ болѣе плотнаго матерьяла дастъ болѣе низкій тонъ.

Серебряная струна даетъ вторую октаву, считая тонъ алюминіевой за основной. Замѣтьте, что плотность серебра относится къ плотности алюминія, какъ $10,4 : 2,6 = 4 : 1 = 2^2 : 1^2$!

Изъ этихъ опытовъ выводятся слѣдующіе законы относительно **звучащихъ струнъ.** 1. Высота тона струны возрастаетъ, если струна укорачивается. Число его колебаній, при равенствѣ прочихъ условій, обратно пропорціонально длинѣ струны. 2. Высота тона струны возрастаетъ, если толщина струны уменьшается. Число колебаній обратно пропорціонально толщинѣ струны. 3. Высота тона (число колебаній) обратно пропорціонално корню квадратному изъ плотности матерьяла струны. 4. Высота тона (число колебаній) прямо пропорціонально корню квадратному изъ вѣса, натягивающаго струну груза.

Такимъ образомъ, струна издаетъ тѣмъ болѣе высокій тонъ, чѣмъ она короче, тоньше, чѣмъ она менѣе плотна и чѣмъ сильнѣе натянута. (Не подтверждается ли это также системой струнъ въ фортепіано?).

Подставимъ подъ серединну струны монохорда еще одну кобылку; вдоль одной половины струны повѣсимъ нѣсколько узенькихъ бумажныхъ рейтеровъ и проведемъ по другой половинѣ смычкомъ. Рейтеры будутъ сброшены. Насадимъ теперь рейтеры на всю струну AB (фиг. 235), подставимъ подъ струну кобылку въ концѣ третьей четверти ея (C) и затѣмъ проведемъ смычкомъ по послѣдней четверти CB струны. Рейтеры соскочатъ отовсюду, кромѣ точекъ E и D, (т. е. кромѣ концовъ 1-ой и 2-ой четвертей струны), откуда они не будутъ сброшены. Струна, слѣдовательно, можетъ колебаться не только по всей своей



Фиг. 235.

длинѣ, но и по участкамъ. Точки (*C*, *D*, *E*), лежащія на границахъ этихъ участковъ, находятся въ состояніи покоя; такія точки называются узловыми точками. Сплошная и пунктирная извилистыя линіи на фиг 235 изображаютъ крайнія положенія, до которыхъ доходятъ струны при своихъ колебаніяхъ. Два сосѣднихъ участка струны колеблются при этомъ одновременно въ противоположныхъ направленіяхъ; въ промежуточныхъ узловыхъ точкахъ сохраняется состояніе покоя.

Гармоническіе тоны (обертоны) получаются тогда, когда мы къ колеблющейся струнѣ, по которой провели смычкомъ, слегка прикасаемся пальцемъ или кисточкой въ точкѣ, отстоящей отъ конца струны на $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ длины струны.

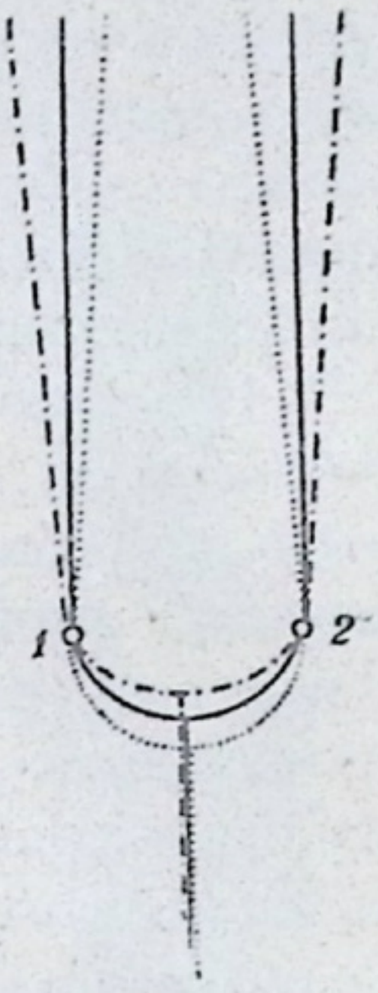
Наиболѣе употребительными струнными инструментами являются слѣдующіе: различные виды скрипокъ, гитара, мандолина, фортепіано, арфа цитра. Въ скрипкѣ, гитарѣ, мандолинѣ и цитрѣ для полученія отдѣльныхъ тоновъ гаммы сначала дается надлежащее натяженіе струнамъ различной толщины, а затѣмъ нажиманіемъ пальцами одной руки въ соотвѣтствующихъ мѣстахъ грифа струнамъ дается требуемая длина, при чемъ пальцами другой руки или смычкомъ приводятся струны въ колебаніе. Въ фортепіано и въ арфѣ нѣтъ, какъ извѣстно, грифа; поэтому въ нихъ должно быть столько струнъ различной толщины, длины, плотности и съ различной степенью натяженія, сколько отдѣльныхъ тоновъ долженъ издавать инструментъ.

Задачи. 1. Если основной тонъ имѣетъ 144 колебанія, то сколько колебаній будетъ соотвѣтствовать прочимъ тонамъ гаммы, построенной на этомъ основномъ тонѣ? 2. Если камертонъ совершаетъ 435 двойныхъ колебаній въ секунду, то сколько колебаній соотвѣтствуетъ ближайшему, считая внизъ, тону *C*? Сколько колебаній будетъ имѣть каждый тонъ гаммы, построенной на этомъ тонѣ? 3. Сирена съ 144 отверстіями совершаетъ 3 оборота въ секунду; какой приблизительно тонъ даетъ она? 4. Какой интервалъ даютъ двѣ струны одинаковаго качества и одинаково натянутыя, если одна изъ нихъ имѣетъ 3 м (5 м) длины, а другая 2 м (3 м)? 5. Изъ двухъ стальныхъ струнъ, одинаковой длины и одинаково натянутыхъ, одна имѣетъ толщину въ 4 мм, другая въ 3 мм; первая издаетъ тонъ *C*, какой тонъ будетъ издавать вторая? 6. Изъ двухъ латунныхъ струнъ одинаковой длины и одинаковой же толщины одна натянута грузомъ въ 4 кгр. а другая—въ 9 кгр. Какой интервалъ даютъ эти струны?

149. **Звучащія бруски и пластинки.** Для полученія музыкальныхъ звуковъ употребляются, хотя и сравнительно рѣдко, бруски и продолговатыя пластинки. Сюда относятся: треугольникъ, ксилофонъ, сходные съ нимъ инструменты изъ стеклянныхъ и металлическихъ полосокъ металлофонъ и пр., (извѣстныя игрушки. въ которыхъ болѣе короткія пластинки даютъ болѣе высокіе тоны), колеблющіяся пластинки въ музыкальныхъ ящикахъ (здѣсь также потверждается тотъ же самый законъ) и т. д.

Сюда же относится и извѣстный вспомогательный музыкальный инструментъ—**камертонъ**. По большей части онъ дѣлается такъ, что при ударѣ издаетъ тонъ *la*, соотвѣтствующій 870 простымъ колебаніямъ въ секунду.

U-образно изогнутая вилка камертона имѣетъ въ двухъ мѣстахъ 1 и 2 (фиг. 236) узловыя точки. Въ то время, какъ вѣтви при колебаніи наклоняются внутрь, дужка и скрѣпленная съ ней ножка передвигаются внизъ и наоборотъ. Убѣдиться въ этомъ можно, осторожно прикладывая ножку къ стѣнкѣ стакана.



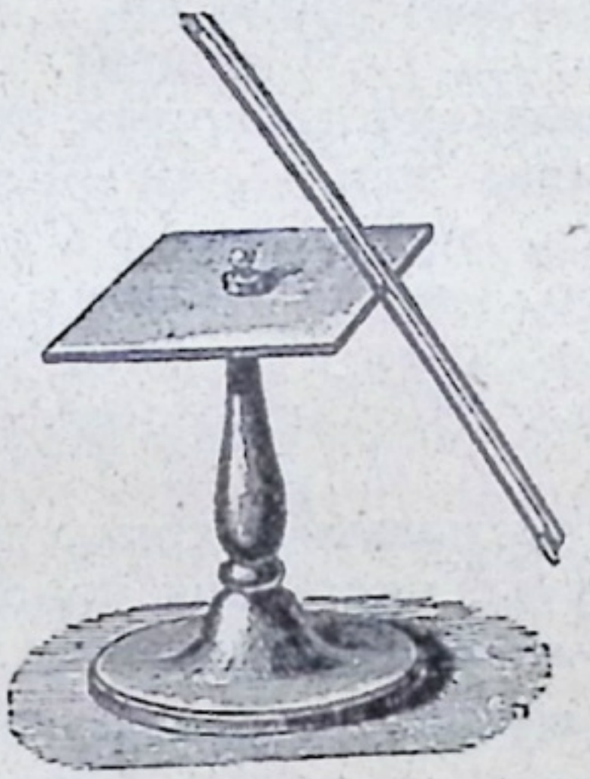
Фиг. 236.

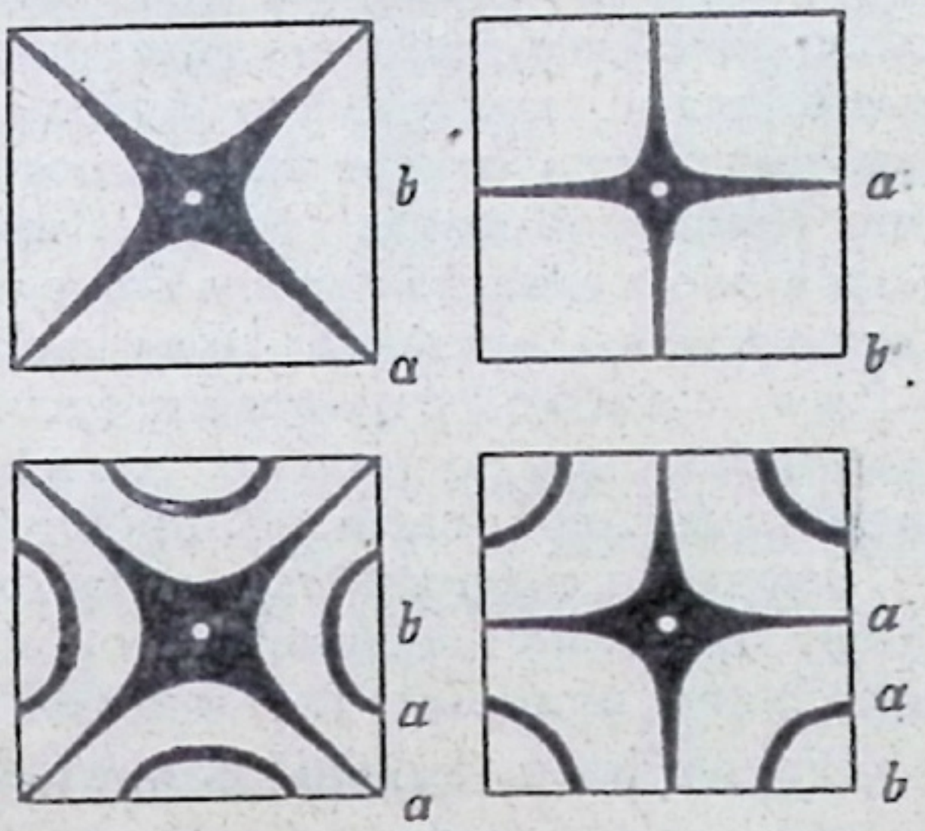
Пластинки (тамтамъ, колокола) и **перепонки**, мембраны (кожа барабана и бубна), могутъ издавать тоны при проведеніи смычкомъ или при ударѣ молоточкомъ. Онѣ колеблются при этомъ отдѣльными участками, между которыми имѣются цѣлыя линіи (узловыя линіи), остающіяся въ состояніи покоя. Эти линіи можно сдѣлать видимыми, насыпавъ на пластинки тонкаго песку (хладніевы фигуры, 1787).

Чтобы сдѣлать видимыми хладніевы фигуры, пластинка укрѣпляется въ нѣкоторой точкѣ ея (напр. въ центрѣ) (фиг. 237); кромѣ того, пластинку придерживаютъ въ опредѣленномъ мѣстѣ (на фиг. 238 обозначено черезъ *a*) и, насыпавъ на нее предварительно ровный слой мелкаго песку, проводятъ по ней скрипичнымъ смычкомъ въ *b*. Фиг. 238 изображаетъ нѣкоторыя полученныя такимъ образомъ фигуры.

Если колоколъ приведенъ въ колебаніе при помощи удара, то точно также образуются узловыя линіи.

Если, напр., по краю колоколообразнаго стекляннаго сосуда (напр., колпака для накрыванія сыра и т. п.), до нѣкоторой высоты наполненнаго водой, провести


Фиг. 237.



Фиг. 238.

смычкомъ, то во время звученія этой (кривой) пластинки наблюдается особое движеніе воды. Если при этомъ вливать въ сосудъ то больше, то меньше воды, то замѣчается измѣненіе высоты тона!

150. **Звучащіе столбы воздуха.** *a*) Будемъ дуть надъ отверстіемъ пробирки, трубки ключа, полой ручки, такъ чтобы струя воздуха проносилась прямо надъ этимъ отверстіемъ; при этомъ

мы услышимъ свистящій звукъ. Будемъ брать для этого опыта трубочки различной длины; тогда мы замѣтимъ, что звукъ будетъ тѣмъ выше, чѣмъ короче трубочка. Возьмемъ для опыта открытую съ обоихъ концовъ трубку; затѣмъ закроемъ ея одинъ конецъ пальцемъ и, снова извлечемъ изъ нея звукъ при помощи дутья. Тонъ, который мы теперь получимъ, на одну октаву ниже полученнаго при обоихъ открытыхъ концахъ. Касаемся ли мы при этомъ опытѣ трубки въ одномъ или нѣсколькихъ мѣстахъ, не имѣетъ значенія для высоты звука.

При изложенныхъ опытахъ въ колебательныя движенія приводится столбъ воздуха, заключенный въ трубкѣ, а не сама трубка. Эти колебательныя движенія **звучащихъ столбовъ воздуха** состоятъ въ сгущеніяхъ и разрѣженіяхъ воздуха, которыя смѣняютъ другъ друга и происходятъ по направленію длины столба воздуха. Такія колебанія мы называемъ продольными колебаніями, въ отличіе отъ поперечныхъ колебаній, совершающихся перпендикулярно къ длинѣ струнъ, брусковъ ит. п.

Возьмемъ для вышеописанныхъ опытовъ восемь съ обѣихъ сторонъ открытыхъ стеклянныхъ или изъ твердаго картона трубокъ, длины которыхъ равны 54, 48, 43,2, 40,5, 36, 32,4, 28,8 и 27 **цент** онѣ относятся, слѣдовательно, другъ къ другу, какъ $1 : {}^{8}/_{9} : {}^{4}/_{5} : {}^{3}/_{4} : {}^{2}/_{3} : {}^{3}/_{5} : {}^{8}/_{15} : {}^{1}/_{2}$. Тогда мы получимъ тоны гаммы. — Подобно этому четыре до нѣкоторой высоты наполненныя водой пробирки, у которыхъ длина воздушнаго столба равна 15, 12, 10, $7{}^{1}/_{2}$ **цент**, при дутьѣ надъ ихъ отверстіями даютъ такъ называемое мажорное трезвучіе (основной тонъ, терція, квинта, октава, или do-mi-sol-do). Числа колебаній двухъ открытыхъ трубъ обратно пропорціональны, слѣдовательно, ихъ длинамъ (то же самое соотношеніе имѣетъ силу и для закрытыхъ съ одного конца трубъ). (Покажите это для вышеописаннаго опыта съ пробирками)!

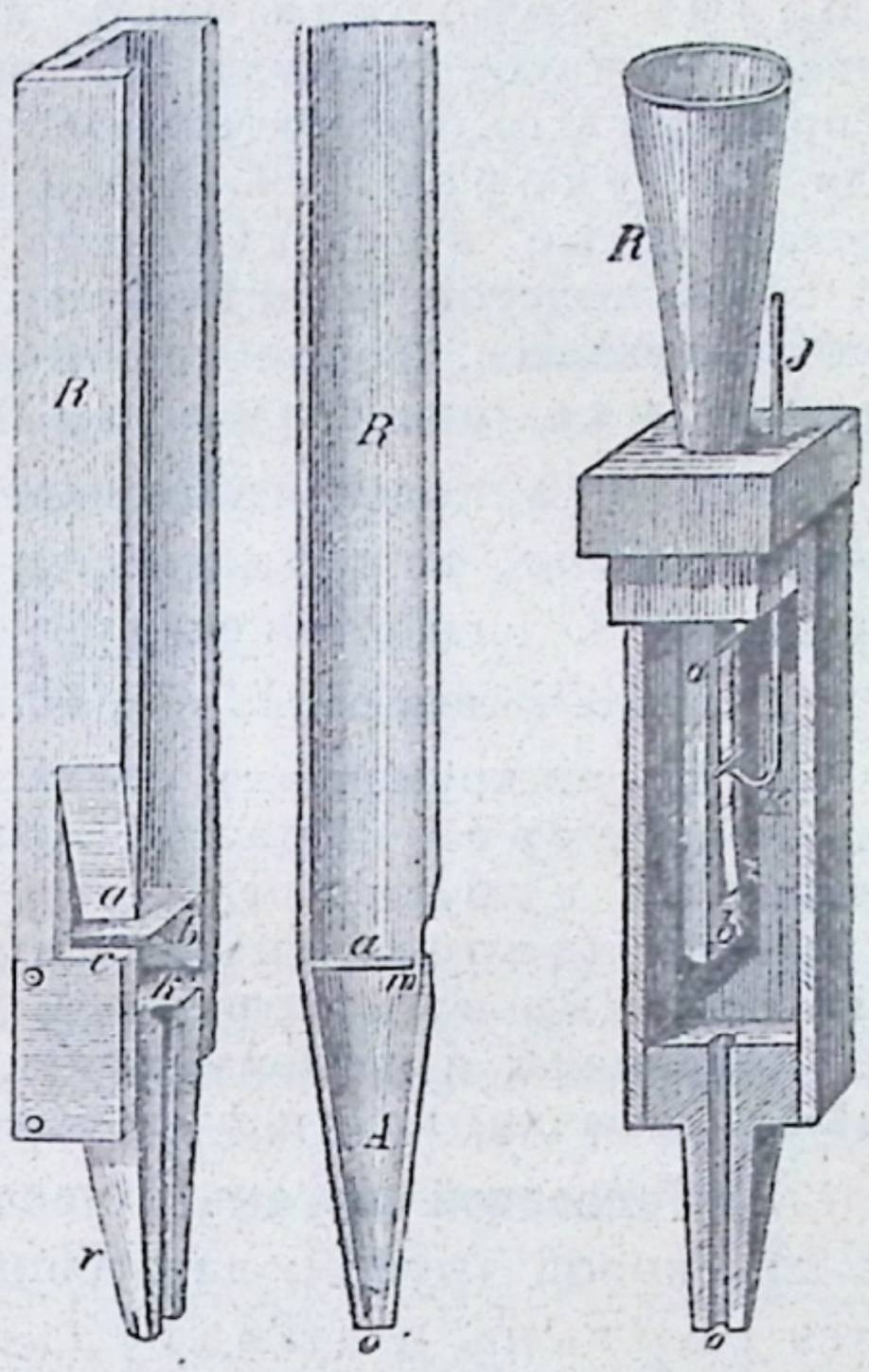
Звучаніе воздушныхъ столбовъ можетъ вызываться также при помощи пламени весьма высокой температуры, напр. при помощи водороднаго пламени (химическая гармоника).

Во всѣхъ **духовыхъ инструментахъ** звукъ вызывается колебаніями заключающихся въ этихъ инструментахъ столбовъ воздуха.

Между этими инструментами мы различаемъ трубы съ язычкомъ и трубы безъ язычка, видоизмѣненіемъ первыхъ служатъ духовые инструменты, имѣющіе котлообразный или воронкообразный мундштукъ.

Къ трубкамъ безъ язычка принадлежатъ: флейта, пастушья свирѣль, (такъ называемыя мундштуковыя) органныя

трубы; къ язычковымъ трубамъ относятся: кларнетъ, гобой, фаготъ, язычковыя трубы органа; изъ инструментовъ съ котлообразными и воронкообразными мундштуками назовемъ: трубу, тромбонъ, сигнальный рожокъ, геликонъ, валторну.

На фиг. 239 изображена въ разрѣзѣ деревянная, на фиг. 240 оловянная органныя трубы безъ язычка. На фиг. 239 черезъ *R* обозначена деревянная труба, въ которой собственно и происходитъ колебаніе столба воздуха, черезъ *c* устье, и черезъ *a* скошенный верхній край прорѣза. Основаніе трубы состоитъ изъ воздушной камеры *k* и дна *b*. Выходящій изъ органныхъ мѣховъ воздухъ попадаетъ въ воздушный ящикъ, оттуда черезъ наставную трубку *r* въ воздушную камеру *k*, а изъ послѣдней черезъ воздушную щель при *c* — на острый скошенный край прорѣза *a*. Здѣсь часть воздуха выталкивается наружу, другая же часть съ силой проникаетъ въ трубу *R* и приводитъ находящійся въ ней столбъ воздуха въ колебательныя движенія. На фиг. 240 черезъ *R* обозначена цилиндрическая, а черезъ *A* — коническая оловянная труба; 

Фиг. 239. Фиг. 240. Фиг. 241.
днемъ трубы здѣсь служитъ пластинка *a*, отдѣляющая другъ отъ друга объ вышеупомянутыя трубы, при чемъ у *m* остается щель. Существуютъ открытыя и закрытыя органныя трубы.

Изъ вышеприведенныхъ опытовъ для всѣхъ безъязычковыхъ трубъ вытекаютъ слѣдующіе законы. 1. Болѣе короткія трубы даютъ болѣе высокіе тоны. Число колебаній трубы обратно пропорціонально ея длинѣ. 2. Открытая труба даетъ тонъ на октаву выше, чѣмъ закрытая той же длины.

b) Язычковая труба (фиг. 241) состоитъ изъ мундштука *ab*, язычка *z* и наставной трубы *R* (звуковой воронки); мундштукъ и язычекъ заключены въ особую камеру, въ которую вдувается воздухъ по каналу *o*. Мундштукъ пред-

ставляетъ собой полый латунный полуцилиндръ, такимъ образомъ закрытый пружинящей латунной пластинкой z (язычкомъ), что воздухъ, вдуваемый черезъ o, можетъ проникать въ звуковую воронку R между язычкомъ и прикрываемымъ послѣднимъ прямоугольнымъ отверстіемъ R. Передвиженіемъ вверхъ и внизъ проволоки JK, нижній конецъ которой придавливаетъ язычекъ, можно достигнуть того, что въ колебаніе приходитъ то болѣе длинная, то болѣе короткая часть язычка. — Если черезъ отверстіе o вдувать въ трубу воздухъ, то язычекъ z и воздухъ въ мундштукѣ ab приходятъ въ колебательное движеніе и труба издаетъ тонъ. Если мы укоротимъ колеблющуюся часть язычка, то труба дастъ болѣе высокій тонъ. Если мы замѣнимъ язычекъ другой болѣе толстой, менѣе упругой латунной полоской, то тонъ трубы измѣнится. То же произойдетъ, если мы измѣнимъ длину мундштука или звуковой воронки.

Высота тона язычковой трубы зависитъ, слѣдовательно, отъ длины и упругости язычка, а затѣмъ, отъ длины мундштука и звуковой воронки.

Сравните возникновеніе тона въ язычковой трубѣ и въ сиренѣ.

г) Въ инструментахъ съ котлообразнымъ мундштукомъ (мѣдныхъ инструментахъ) язычекъ замѣняется прижатыми къ мундштуку губами музыканта. Напротивъ, кларнетъ, гобой и фаготъ (деревянные инструменты) имѣютъ настоящіе язычки изъ дерева и тростника. Точно также и губная гармоника и раздвижная гармоника, а также фисъ-гармонія имѣютъ язычки, но лишены звуковой воронки.

д) **Голосовой органъ у человѣка** имѣетъ большое сходство съ язычковой трубой; важнѣйшими составными частями его являются гортань и дыхательное горло.

Гортань есть верхняя часть состоящаго изъ хрящевыхъ колецъ дыхательнаго горла. На внутренней стѣнкѣ ея имѣются двѣ упругія перепонки (голосовыя связки), которыя могутъ закрывать дыхательное горло (гортань) почти совершенно, оставляя лишь маленькую щель (голосовую щель). Надъ голосовой щелью находится хрящевая пластинка (надгортанникъ), прикрывающій голосовую щель и предохраняющій гортань и дыхательное горло отъ проникновенія въ нихъ постороннихъ тѣлъ. При спокойномъ дыханіи голосовыя связки находятся въ разслабленномъ состояніи (не напряжены), и воздухъ неслышно входитъ и выходитъ черезъ гортань. Если же горловыя связки напряжены при помощи соотвѣтствующихъ мышцъ, вслѣдствіе чего голосовая щель, болѣе или менѣе, суживается, то эти связки при прохожденіи воздуха приходятъ въ колебанія, сообщающіяся воздуху, находящемуся въ полости рта. Возникаетъ звукъ, высота котораго зависитъ отъ длины и напряженія, а также ширины голосовыхъ связокъ и отъ силы тока воздуха.

У дѣтей и женщинъ длина голосовыхъ связокъ равняется 12 мм, у мужчинъ 18 мм; поэтому у первыхъ голосъ бываетъ выше, чѣмъ у послѣднихъ. Человѣческій голосъ обнимаетъ почти двѣ октавы. На пятнадцатомъ или шестнадцатомъ году голосовыя связки юноши быстро увеличиваются; наступаетъ періодъ перелома голоса. Въ этомъ періодѣ голосъ не вѣренъ и не чистъ; отъ нѣкія въ это время голосъ портится. Только съ помощью полости рта и находящихся въ ней и ограничивающихъ ее органовъ тоны превращаются въ членораздѣльные звуки—получается человѣческая рѣчь.

Задачи. 1. Какой интервалъ между двумя открытыми трубами длиной въ 70 цт и въ 56 цт? **2.** Насколько нужно опустить поршень закрытой органной трубы длиной въ 120 цт, чтобы повысить тонъ до кварты? **3.** Какой интервалъ даютъ закрытыя органныя трубы длиной въ 120 цт и открытая длиной въ 160 цт?

151. **Скорость звука.** Если на довольно значительномъ разстояніи отъ насъ происходитъ выстрѣлъ, то огонь сгорающаго пороха мы видимъ въ то же мгновеніе, звукъ же выстрѣла воспринимаемъ только спустя болѣе долгое время. А между тѣмъ вспышка пороха и звукъ происходятъ одновременно; но свѣтъ опережаетъ звукъ тѣмъ больше, чѣмъ длиннѣе ихъ общій путь отъ мѣста ихъ возникновенія до мѣстонахожденія наблюдателя.

Слѣдовательно, звукъ имѣетъ меньшую скорость, чѣмъ свѣтъ.

Станемъ на точно опредѣленномъ разстояніи отъ пушки или ружья и сосчитаемъ съ помощью секундной стрѣлки часовъ сколько секундъ пройдетъ отъ момента, когда мы замѣтимъ огонь, до момента, когда мы услышимъ звукъ выстрѣла. Мы найдемъ, что на прохожденіе этого разстоянія звуку необходимо извѣстное время. Будемъ наблюдать то же явленіе такимъ же образомъ, отошедши на вдвое большее разстояніе; тогда промежутокъ времени между вспышкой и звукомъ будетъ вдвое больше.

Распространеніе звука происходитъ въ формѣ равномѣрнаго движенія. При помощи весьма точныхъ опытовъ, предпринятыхъ въ Парижѣ въ 1822 г., было опредѣлено, что **скорость звука въ атмосферномъ воздухѣ** можетъ быть принята **равной 333 м въ секунду.**

Означенные опыты дѣлались при тихой погодѣ ночью. (Почему?). Путемъ опытовъ и вычисленія найдено, что скорость звука въ жидкихъ и твердыхъ тѣлахъ больше, чѣмъ въ воздухѣ, и что для воздуха она возрастаетъ съ повышеніемъ температуры (приблизительно на 0,5 м на каждый 1° по Цельсію). Скорость звука въ твердыхъ тѣлахъ въ 10—18 разъ, а въ водѣ въ 4 раза больше, чѣмъ въ воздухѣ.

Задачи. 1. Почему вблизи пушки и огонь, и звукъ выстрѣла мы воспринимаемъ одновременно? **2.** На какомъ разстояніи былъ произведенъ выстрѣлъ, если между моментами, когда увидѣли огонь и услышали звукъ, прошло 3,5 секунды? **3.** За сколько времени звукъ пройдетъ пространство въ 810 м? **4.** Вліяетъ ли движеніе воздуха на скорость звука? Въ какомъ случаѣ она увеличивается и

въ какомъ уменьшается? **5.** Мы стоимъ у одного конца шеренги солдатъ длиной, напр., въ **1 км**; по данному знаку (напр. при поднятіи флага) всѣ солдаты одновременно стрѣляютъ изъ ружей. Почему мы слышимъ при этомъ звукъ, длящійся три секунды? Исходя изъ этого, попробуйте объяснить большую продолжительность раската грома при молніи большой длины (до **12 клм**)! Многіе думаютъ, что если громъ слѣдуетъ очень быстро за молніей, то молнія ударила въ какой-нибудь предметъ; правиленъ ли такой взглядъ? **6.** Громъ слышенъ черезъ 8,5 секунды послѣ блеска молніи; на какомъ разстояніи гроза?

152. **Отраженіе звука**. *а*) Бросимъ въ стоячую воду пруда камень и будемъ наблюдать волны, расходящіяся во всѣ стороны. Когда онѣ достигаютъ до берега, то направленіе ихъ движенія измѣняется на обратное: волны возвращаются къ своему исходному пункту.

Подобно волнамъ воды и звуковыя волны, натолкнувшись на задерживающую ихъ среду, возвращаются назадъ въ прежнюю среду; это явленіе называется **отраженіемъ звука**. Отраженныя звуковыя волны производятъ на наше ухо то же самое впечатлѣніе, какъ и непосредственно въ него попадающія; при отраженіи звука мы также можемъ слышать звуки и слова.

Отражаютъ звукъ, напр., стѣны, скалы, деревья на опушкѣ лѣса, поверхность воды, облака и пр.

Всякая прямая, вдоль которой распространяются звуковыя волны, называется звуковымъ лучомъ. Звуковые лучи отбрасываются отражающей ихъ стѣной подобно тому, какъ упругій шаръ (резиновый мячъ) отскакиваетъ отъ вертикальной стѣны. (Ср. § 143).

б) Если мы находимся передъ отражающей звукъ стѣной и громко по направленію, перпендикулярному къ поверхности стѣны, крикнемъ односложное слово или выстрѣлимъ по тому же направленію изъ пистолета, то, согласно вышесказанному, идущіе къ стѣнѣ звуковые лучи должны быть отброшены обратно къ тому мѣсту, гдѣ мы стоимъ. Въ этомъ случаѣ мы можемъ услыхать **усиленіе** или **удлиненіе звука**, или же **повтореніе звука—эхо**.

Усиленіе и удлиненіе **звука** имѣетъ мѣсто тогда, когда отраженный звукъ такъ быстро слѣдуетъ за первоначальнымъ, что нашъ слухъ не улавливаетъ каждаго изъ нихъ въ отдѣльности; благодаря такому совпаденію отраженнаго звука получается только болѣе громкій или болѣе продолжительный звукъ.

Какъ извѣстно, наше ухо можетъ отчетливо воспринять 9 послѣдовательныхъ звуковъ въ секунду, т. е. для уха не-

обходима 1/9 секунды, чтобы отдохнуть отъ предыдущаго впечатлѣнія. Если отраженная звуковая волна доходитъ до нашего уха быстрѣе, чѣмъ черезъ 1/9 секуиды послѣ первоначальной волны, то отраженный звукъ или вполнѣ или отчасти сливается для насъ съ первоначальнымъ. Въ первомъ случаѣ первоначальный звукъ усиливается, во второмъ становится болѣе продолжительнымъ.

Въ закрытомъ помѣщеніи легче говорить внятно для многихъ слушателей, чѣмъ на открытомъ воздухѣ. Почему? Если закрытое помѣщеніе весьма велико и его стѣны настолько удалены отъ говорящаго, что возникаетъ удлиненіе звука, то трудно понимать говорящаго. Почему? Залъ, театръ построенъ согласно требованіямъ акустики тогда, когда въ немъ устранено продленіе первоначальнаго звука (для чего избѣгаютъ большихъ ровныхъ стѣнъ), а значительно усиленъ звукъ, идущій прямо отъ возбудителя звука.

При повтореніи звука (эхо) отраженный звукъ достигаетъ нашего уха не раньше, чѣмъ черезъ 1/9 секунды послѣ воспріятія нами первоначальнаго звука, и потому можетъ быть ясно различаемъ отъ послѣдняго.

Въ теченіе этой 1/9 секунды звукъ проходитъ путь отъ мѣста своего возникновенія до отражающей стѣны и обратно; поэтому для движенія въ одномъ направленіи требуется 1/18 секунды. Такъ какъ въ секунду звукъ проходитъ 333 м, то стѣна должна быть на разстояніи одной восемнадцатой 333 м, т. е. на разстояніи 18 1/2 м, или приблизительно 20 м. Находящаяся на такомъ разстояніи стѣна отражаетъ очень короткій звукъ (выстрѣлъ, односложное слово) такъ, что онъ уже не сливается съ впечатлѣніемъ отъ первоначальнаго звука, т. е. явственно слышится, какъ отдѣльный звукъ. Такое эхо называется односложнымъ.

Изъ слова, состоящаго изъ двухъ или болѣе слоговъ, мы слышимъ въ этомъ случаѣ повтореннымъ только послѣдній слогъ. Почему?

Если отражающая стѣна находится на разстояніи вдвое, втрое, вчетверо... большемъ, чѣмъ 20 м, то образуется двухъ,-трехъ,-четырехъ сложное, т. е. многосложное эхо. (Какимъ образомъ)?

Если имѣется нѣсколько отражающихъ стѣнъ, изъ которыхъ одна находится отъ насъ на разстояніи не меньшемъ, чѣмъ 20 м, а прочія на двойномъ, тройномъ, четверномъ разстояніи по сравненію съ первымъ, то односложное слово повторится въ видѣ эхо столько разъ, сколько имѣется стѣнъ. Такое эхо называется двукратнымъ, троекратнымъ и т. д., вообще многократнымъ, въ противоположность простому, однократному, получающемуся отъ одной только стѣны.

Односложное эхо часто слышится, напр., на большихъ окруженныхъ стѣнами дворахъ, въ длинныхъ коридорахъ, въ долинахъ, на опушкахъ лѣсовъ и т. д. Не рѣдки также и многократное одно- и двухсложное эхо. У скалы Лорелеи на Рейнѣ односложное эхо слышится 17 разъ; у Адерсбаха въ сѣверной Богеміи есть такое замѣчательное сочетаніе скалъ, что сильный голосъ можетъ вызвать тамъ семисложное и троекратное эхо. Что это значитъ? Если исходную то-

чку первоначальнаго звука искать въ томъ направленіи, по которому идетъ отраженный звукъ, то можно иногда впасть въ ошибку. Какимъ образомъ? Можетъ ли хоръ или оркестръ удовлетворительно исполнить свою задачу въ мѣстности, дающей эхо? Почему нѣтъ? Почему такъ долго длятся раскаты грома въ горныхъ долинахъ?

в) Если мы сложимъ листъ бумаги въ видѣ воронки такъ, чтобы у вершины конуса оставалось маленькое отверстіе, и станемъ говорить въ это отверстіе, то голосъ нашъ будетъ сильнѣе раздаваться по направленію оси этой конусообразной трубки, чѣмъ если бы мы говорили безъ трубки. Подобное устройство имѣетъ **рупоръ**, представляющій открытую конусообразную трубку, которая дѣлается по большей части изъ латуни или жести.

Звукъ, производимый, когда говорятъ въ рупоръ, многократно отражается отъ его внутренней поверхности у узкаго мундштука, такъ что по крайней мѣрѣ часть звуковыхъ лучей, выходящихъ изъ рупора у противоположнаго широкаго отверстія, оказываются взаимно параллельными; вслѣдствіе этого звуки бываютъ слышны даже еще и на довольно значительномъ разстояніи.

Если нужно говорить изъ даннаго помѣщенія въ другое, сравнительно отдаленное отъ перваго, то употребляются также длинныя одного и того же небольшого діаметра (2—3 цт) жестяныя трубки, на концахъ которыхъ придѣлываются воронкообразныя расширенія. Такія трубки употребляются, напр., для соединенія магазина со складомъ или мастерской, а также на пароходахъ, чтобы съ палубы отдавать приказаніе въ машинное отдѣленіе.

Слуховая труба представляетъ собой короткую конусообразную трубку, служащую для того, чтобы сдѣлать слова, сказанныя у широкаго отверстія, болѣе слышными у узкаго отверстія; звуковыя волны, претерпѣвъ многократное отраженіе въ трубкѣ, достигаютъ узкаго отверстія усиленными.

Слуховая труба употребляется при тугоухости, при чемъ узкій конецъ ея вставляется въ наружный слуховой каналъ.

Особенно замѣчательно отраженіе звука отъ такъ называемыхъ акустическихъ сводовъ, т. е. въ помѣщеніяхъ, которыя намѣренно или случайно выстроены такимъ образомъ, что слова, произнесенныя въ извѣстномъ мѣстѣ внутри этого помѣщенія, явственно слышны въ другомъ опредѣленномъ пунктѣ его. (Залъ каріатидъ въ Луврѣ въ Парижѣ, куполъ собора св. Павла въ Лондонѣ, такъ называемое ухо Діонисія въ сиракузскихъ каменоломняхъ и пр.).

153. **Резонансъ и отзывчивость.** Звучащій камертонъ ставится сначала на столъ, а затѣмъ на пустой ящикъ; въ послѣднемъ случаѣ звукъ его усиливается. Если мы снимемъ звучащій камертонъ съ подставки, то звукъ его дѣлается неслышнымъ. Поставивъ его снова на столъ, мы опять услышимъ его звукъ по всей комнатѣ.

Надѣнемъ на одну изъ двухъ струнъ скрипки (или монохорда), на одинъ тонъ настроенныхъ, нѣсколько рейтеровъ, (см. стр. 218) и проведемъ смычкомъ по другой сторонѣ. Мы замѣтимъ, что рейтеры съ первой струны соскакиваютъ. Подобный опытъ можно продѣлать и съ двумя на одинъ и тотъ же тонъ настроенными камертонами.

Такимъ образомъ, твердыя тѣла могутъ приводиться въ колебанія также и оттого, что рядомъ съ ними находятся звучащія тѣла; при этомъ они усиливаютъ звукъ послѣднихъ. Это усиленіе звука называется **резонансомъ**. Если два возбудителя звука настроены на одинъ и тотъ же тонъ, то одинъ изъ нихъ, будучи приведенъ въ колебанія, можетъ при посредствѣ проводящей звукъ среды переносить эти колебанія на другой и возбуждать послѣдній къ самостоятельному звучанію. Это перенесеніе колебаній называется **звуковой отзывчивостью**.

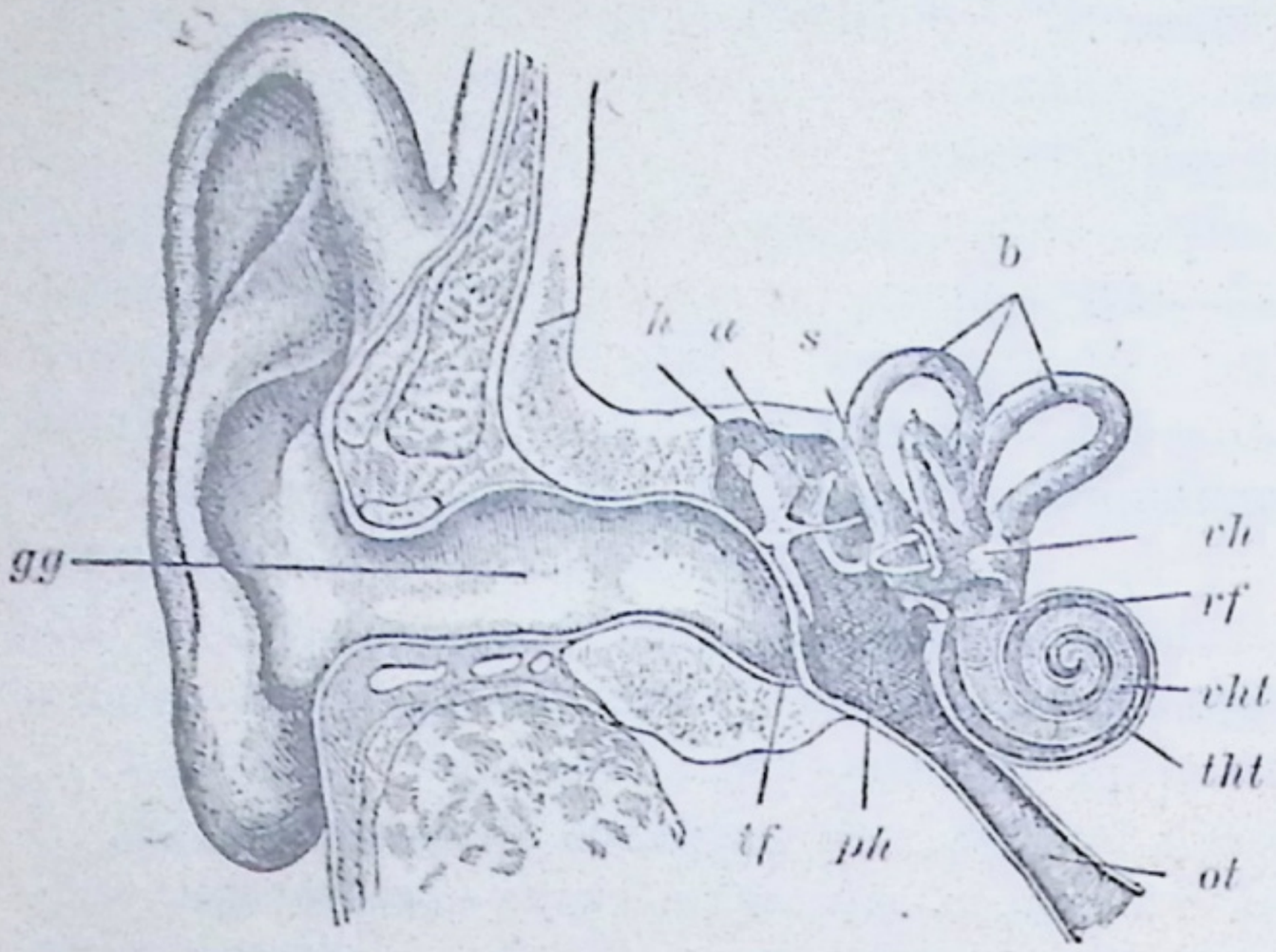
Всѣ струнные инструменты имѣютъ деревянные **ящики—резонаторы**; находящійся въ послѣднихъ воздухъ приводится въ колебаніе вслѣдствіе звуковой отзывчивости. Обѣ стѣнки служащихъ резонаторами ящиковъ, идущія параллельно струнамъ, называются резонансными досками (деками); ихъ изготовленіе требуетъ особой тщательности, такъ какъ отъ ихъ свойствъ зависитъ въ значительной степени не только сила (количество), но и нѣкоторыя другія особенности (качество) звука.

Какое вліяніе имѣютъ зубы на усиленіе и на качество человѣческаго голоса?

Попробуйте на основаніи слѣдующихъ опытовъ объяснить «звучаніе по отзывчивости» одинаково настроенныхъ возбудителей звука. Если маятникъ держать за свободный конецъ нити и двигать рукой, держащей маятникъ, равномѣрно туда и сюда, то маятникъ только тогда придетъ въ значительныя колебанія, когда движенія руки соотвѣтствуютъ по продолжительности колебаніямъ этого маятника при свободномъ качаніи его. Возможность звонить въ большіе церковные колокола, благодаря ритмической тягѣ за веревку колокола. Остановка колебаній колокола при тягѣ съ ритмомъ противоположнымъ этимъ колебаніямъ. Почему даже ребенокъ можетъ привести качели въ сильныя колебанія?

154. **Органъ слуха. Органъ слуха у человѣка** состоитъ изъ наружнаго, средняго и внутренняго уха. Къ наружному уху принадлежитъ ушная раковина, отъ которой начинается наружный слуховой каналъ *gg* (фиг. 242), ведущій къ барабанной перепенкѣ *tf*, послѣдняя представляетъ собой тонкую кожицу (мембрану), отдѣляющую наружное ухо отъ барабанной полости или средняго уха *ph*. Въ барабанной полости находятся слуховыя косточки: молоточекъ *h*, своей рукояткой сращенный съ барабанной

перепонкой, наковальня *a*, на которой лежитъ головка молоточка, стремячко *s*, соединенное съ одной стороны при посредствѣ чечевицеобразной косточки съ наковальней, а съ другой находящеся въ соединеніи съ овальнымъ окномъ. Посредствомъ Евстахіевой трубы (*ot*) барабанная полость сообщается съ полостью рта; вслѣдствіе этого упругость находящагося въ барабанной полости воздуха всегда остается равной упругости наружнаго воздуха. Овальное окно ведетъ во внутреннее ухо, но отдѣлено отъ послѣдняго кожицей. Внутреннее ухо (лабиринтъ) имѣетъ предверіе *ch*, три полукружныхъ канала *b* и улитку *cht*, которая отдѣляется отъ барабанной полости круглымъ окномъ *rf*, снабженнымъ закрывающей его мембраной. Лабиринтъ наполненъ жидкостью, въ которую выступаютъ окончанія слухового нерва.



Фиг. 242.

Ощущеніе звука (слышаніе) предполагаетъ проведеніе звукового движенія до головного мозга. Звуковыя волны улавливаются ушной раковиной и по наружному слуховому каналу достигаютъ барабанной перепонки, которая приводится ими въ колебанія и передаетъ послѣднія слуховымъ косточкамъ; а тѣ въ свою очередь передаютъ эти колебанія жидкости лабиринта и окончаніямъ слухового нерва. Это возбужденіе слухового нерва ощущается мозгомъ, какъ звукъ. Отъ большаго или меньшаго натяженія барабанной перепонки, производимаго особой мышцей, сокращеніе которой не управляется нашей волей, зависитъ сила впечатлѣнія, производимаго звуковыми волнами на среднее и внутреннее ухо.

Вслѣдствіе сильныхъ сотрясеній барабанная перепонка можетъ прорваться, могутъ также при такихъ сотрясеніяхъ и слуховыя косточки принять неестественное положеніе, потерять связь между собой. Въ такихъ случаяхъ появляется тугоухость. Полная глухота происходитъ тогда, когда отмираетъ слуховой нервъ или высыхаетъ жидкость лабиринта. Какой цѣли достигаютъ, при-

кладывая ладонь къ уху и тѣмъ какъ бы увеличивая ушную раковину? Почему страдающіе тугоухостью, прислушиваясь къ словамъ другихъ, раскрываютъ ротъ? Артиллеристы легко пріобрѣтаютъ тугоухость. Чтобы предотвращать до нѣкоторой степени вредныя послѣдствія, причиняемыя ихъ органу слуха при выстрѣлѣ, слѣдуетъ во время стрѣльбы держать ротъ открытымъ. Почему?

XI. О свѣтѣ. (Оптика).

155. **Свѣтъ. Источники свѣта.** Если въ закрытомъ ставнѣ, освѣщенномъ солнцемъ, есть маленькое отверстіе, то мы можемъ видѣть безчисленное множество пылинокъ, летающихъ въ комнатномъ воздухѣ. Эти пылинки совершенно невидимы въ темной комнатѣ (напр. ночью или при совершенно закрытыхъ ставняхъ), и увидѣть ихъ можно только тогда, когда онѣ ярко освѣщены. Причину такого яркаго освѣщенія и отсюда возможность видѣть тѣла мы называемъ **свѣтомъ**.

Существуютъ тѣла, которыя сами являются причиной исходящаго отъ нихъ свѣта; таковы, напр., солнце, неподвижныя звѣзды, раскаленныя и горящія тѣла и т. д.; они называются **самосвѣтящимися тѣлами** или **источниками свѣта**. Напротивъ, тѣ тѣла, которыя только получаютъ свѣтъ отъ другихъ тѣлъ или должны быть освѣщены, чтобы стать видимыми, носятъ названіе **темныхъ тѣлъ**; таковы, напр., обстановка комнаты, земля, луна, другія планеты и пр.

Тѣла, которыя пропускаютъ свѣтъ, такъ что сквозь нихъ можно видѣть другіе предметы, называются **прозрачными**; не пропускающія же свѣта — **непрозрачными**. Тѣла, позволяющія видѣть находящіеся за ними предметы только въ контурахъ, а, слѣдовательно, неотчетливо, называются **просвѣчивающими** тѣлами.

Назовите самосвѣтящіяся и темныя тѣла! Назовите прозрачныя, непрозрачныя и просвѣчивающія тѣла! Въ соотвѣтственно тонкихъ слояхъ всѣ тѣла просвѣчиваютъ. Такъ, напр., тонкій золотой листочекъ (§ 19) пропускаетъ сквозь себя зеленоватый свѣтъ.

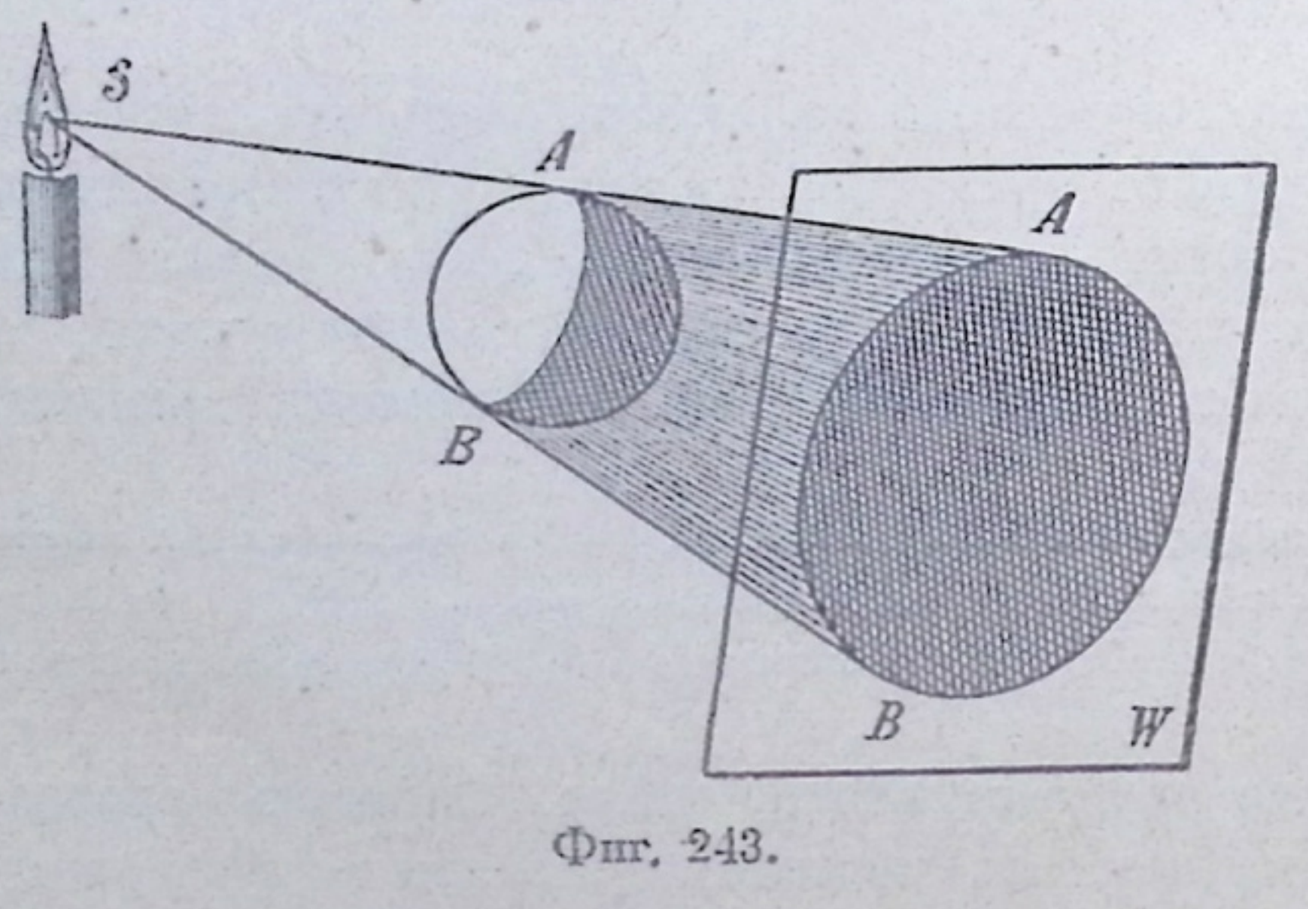
156. **Прямолинейное распространеніе свѣта. Скорость распространенія свѣта.** При наблюденіи явленія, приведеннаго въ началѣ § 155, мы видимъ прямолинейную полоску свѣта, освѣщающую пылинки, носящіяся въ воздухѣ и попадающія въ мѣста, расположенныя по ея направленію. Такъ какъ мы не можемъ видѣть предмета ни черезъ изогнутую трубку, ни изъ за угла, то

мы утверждаемъ, что свѣтъ въ однородной средѣ **распространяется по прямой линіи.** Всякая прямая линія, вдоль которой распространяется свѣтъ, называется **свѣтовымъ лучомъ.** Отъ тѣлъ свѣтящихся или освѣщенныхъ такіе свѣтовые лучи исходятъ во всѣ стороны, въ противномъ случаѣ стоящую по серединѣ горящую свѣчу или находящіійся тамъ же стулъ мы не могли бы видѣть изъ любого мѣста комнаты.

Когда молотокъ ударяетъ по колоколу, то мы видимъ это въ то же самое мгновеніе, какъ бы далеко ни стояли мы отъ колокола; звукъ же этого удара, если мы находимся далеко отъ колокола, мы услышимъ только позже. Всякое разстояніе въ предѣлахъ нашего кругозора на землѣ свѣтъ проходитъ въ весьма короткое время. Поэтому если возникаютъ одновременно и свѣтъ и звукъ, то звукъ отстаетъ отъ свѣта тѣмъ больше, чѣмъ дальше мы находимся отъ мѣста ихъ возникновенія. Изъ этого слѣдуетъ, что свѣтъ долженъ обладать гораздо большей скоростью, чѣмъ звукъ. Дѣйствительно, точныя наблюденія и вычисленія показали, что свѣтъ проходитъ въ секунду **300.000 клм.**

Для такой огромной скорости ничтожно малы всѣ земныя разстоянія. Поэтому, когда въ какой либо точкѣ земной поверхности, доступной нашему глазу, появляется свѣтъ, то мы видимъ это мгновенно. Длину экватора земли свѣтъ прошелъ бы менѣе чѣмъ въ $^1/_7$ секунды (Почему?). Зная, что разстояніе земли отъ солнца въ круглыхъ числахъ равно 150 милліонамъ километровъ, опредѣлить въ какой промежутокъ времени свѣтъ доходитъ отъ солнца до земли. Свѣтъ отъ постоянныхъ звѣздъ до земли идетъ цѣлые годы.

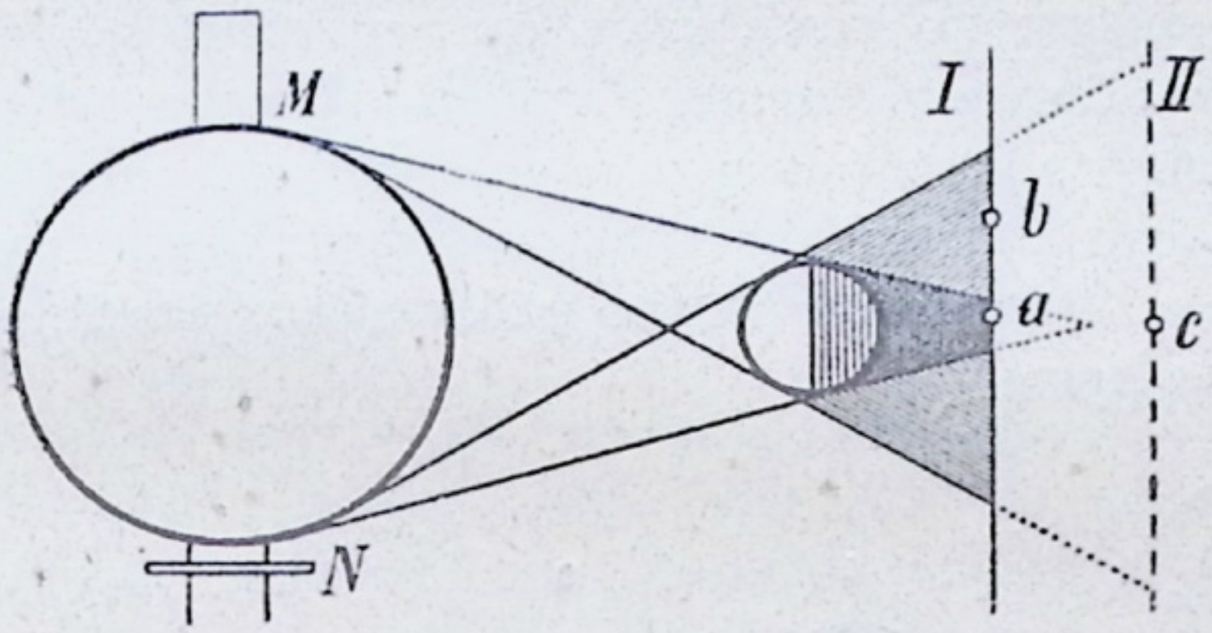
157. **Тѣнь.** Изложенные въ § 156 опыты и факты познакомили насъ съ закономъ природы—прямолинейнымъ распространеніемъ свѣта; законъ этотъ потверждается слѣдующимъ всѣмъ извѣстнымъ явленіемъ. Если между пламенемъ свѣчи S (фиг. 243) и стѣной W помѣстить непрозрачное тѣло (напр. выкрашенный въ бѣлый цвѣтъ шаръ AB), то тѣло это на сторонѣ, обращенной къ пламени, будетъ освѣщено, наоборотъ, на противоположной сторонѣ оно представляется темнымъ; затѣмъ, за тѣломъ получается темное пространство, имѣющее видъ усѣченнаго конуса, ограничиваемаго прямолинейными



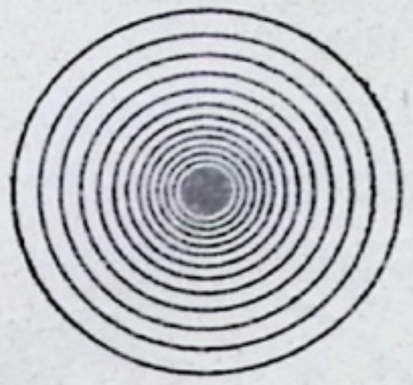
Фиг. 243.

лучами, которые, исходя отъ S, идутъ по касательнымъ къ поверхности тѣла (напр. SAA' и SBB'); наконецъ, на стѣнѣ мы видимъ черное пятно, форма котораго зависитъ отъ формы непрозрачнаго тѣла.

При нашемъ опытѣ мы брали маленькое пламя; если вмѣсто источника свѣта, изображеннаго на фиг. 243 и принятаго за свѣтящуюся точку взять большаго размѣра, (напр. шаровидный молочнобѣлый колпакъ лампы), то увидимъ иное. Каждая точка свѣтящагося тѣла играетъ въ этомъ случаѣ роль точки S на фиг. 243. Каждая такая точка даетъ конусъ тѣни. Пространство, общее всѣмъ такимъ конусамъ, въ которое не можетъ вовсе попасть свѣтъ отъ нашего источника свѣта, показанъ на фиг. 244 въ видѣ конуса, покрытаго взаимно пересѣкающимися штрихами. Вокругъ послѣдняго расположены мѣста, куда доходитъ только



Фиг. 244.



Фиг. 245.

часть расходящихся отъ нашего ламповаго абажура лучей, и при томъ каждая точка здѣсь получаетъ тѣмъ больше свѣта, чѣмъ дальше она находится въ сторону отъ темнаго пространства. Если наша преграда (бѣлый экранъ) находится въ положеніи I, то по серединѣ (при a) расположено круглое черное пятно, окруженное большимъ круглымъ же пятномъ, которое становится все свѣтлѣе изнутри кнаружи и, наконецъ, безъ рѣзкой границы сливается съ бѣлымъ цвѣтомъ освѣщеннаго экрана (фиг. 245). Если же мы станемъ отодвигать экранъ отъ I въ II, то темное центральное пятно тѣни начинаетъ уменьшаться и наконецъ совершенно исчезнетъ, внѣшній же полутемный кругъ наоборотъ увеличивается.

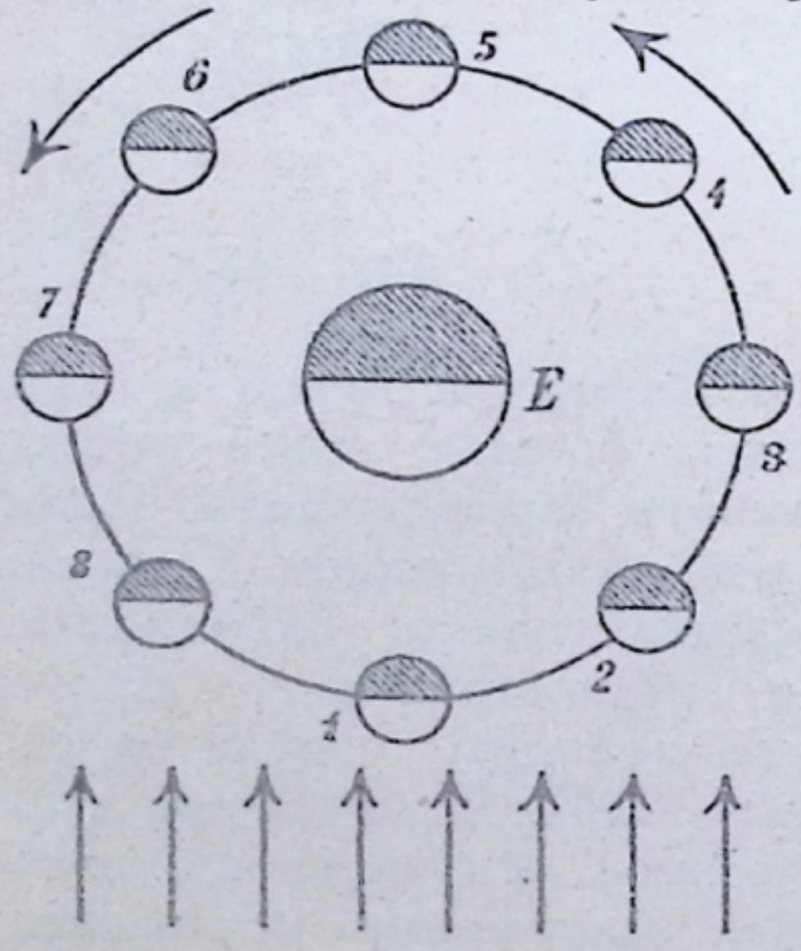
Темное пространство, получающееся за непрозрачнымъ тѣломъ, куда вслѣдствіе прямолинейнаго распространенія свѣта вовсе не можетъ проникнуть свѣтъ или же попадаетъ только часть его, называется **тѣнью**. Если тѣнь падаетъ на свѣтлую поверхность, то на послѣдней образуется черное (лишенное свѣта) пятно; оно составляетъ **тѣнь**, отбрасываемую тѣломъ.

Совершенно неосвѣщенное пространство за непрозрачнымъ тѣломъ называется **полной тѣнью**; слабѣе освѣщенная часть тѣни носитъ названіе **полутѣни**.

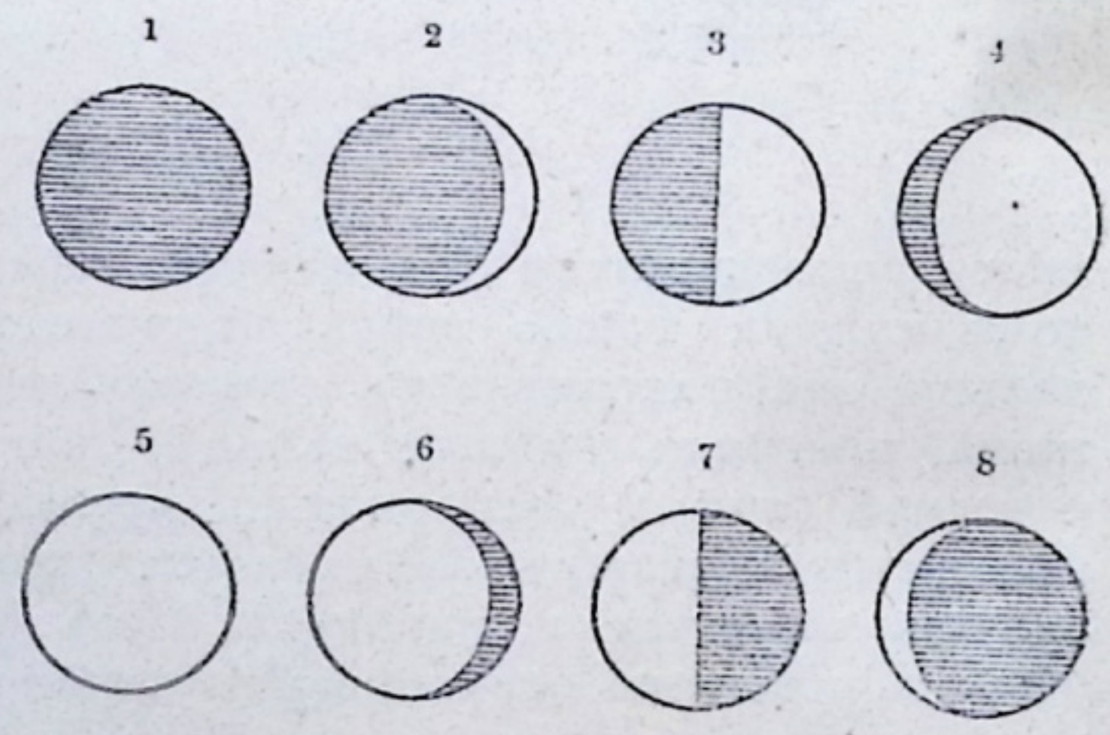
158. **Фазы луны.** Образованіе тѣни играетъ въ міровомъ пространствѣ чрезвычайно важную роль при освѣщеніи солнцемъ земли и луны.

Въ каждый моментъ лучи солнца освѣщаютъ только половину нашей земли. Такъ какъ земля вращается вокругъ своей оси, то для насъ, жителей земли, получается смѣна дня и ночи. Вслѣдствіе годового перемѣщенія земной оси, остающейся при этомъ параллельной самой себѣ, линія, отдѣляющая свѣтъ отъ тѣни, также измѣняетъ при этомъ свое положеніе на землѣ.

Подобное же явленіе замѣчаемъ мы и на лунѣ, вращающейся вокругъ нашей земли; но такъ какъ съ земли мы можемъ видѣть луну (тогда какъ бросить взглядъ на землю, какъ цѣлое, мы могли бы только съ достаточно удаленной точки мірового пространства), то во время обращенія луны вокругъ земли (около 28 сутокъ) мы можемъ непосредственно наблюдать различныя **свѣтлыя фигуры — фазы луны.**



Фиг. 246.



Фиг. 247.

На фиг. 246 стрѣлки изображаютъ доходящіе до земли *E* солнечные лучи; за время одного своего обращенія вокругъ земли луна попадаетъ въ положенія, обозначенныя цифрами *1* — *8*; для перехода изъ одного положенія въ другое, сосѣднее лунѣ, нужно $3^1/_2$ дня. Фиг. 247 изображаетъ освѣщенныя части луны, какъ мы ихъ видимъ съ земли, при положеніяхъ луны 1 — 8. Въ положеніи 1 вся освѣщенная половина луны обращена въ сторону отъ земли; поэтому луна при этомъ совершенно невидима (**новолуніе**); при переходѣ

луны изъ положенія 1 въ 2 образуется свѣтлый серпъ, вогнутой стороной обращенный подобно буквѣ Э, по лѣвую руку наблюдателя; серпъ этотъ становится все шире (нарождающаяся луна), пока въ положеніи 3 не достигнетъ формы полукруга (**первая четверть**); при дальнѣйшемъ переходѣ въ положеніе 4 луна продолжаетъ прибывать, пока наконецъ въ положеніи 5 не превратится въ полный кругъ (**полнолуніе**). Начиная отсюда, свѣтлый кругъ начинаетъ уменьшаться (убывающая луна, луна на ущербѣ); въ положеніи 6 уже исчезла часть круга по правую руку отъ наблюдателя, въ положеніи 7 видна только половина круга (**послѣдняя четверть**), которая затѣмъ (положеніе 8) превращается во все болѣе узкій серпъ съ рожками, обращенными направо отъ наблюдателя, какъ въ буквѣ С. Наконецъ и такой серпъ исчезаетъ — наступаетъ новое новолуніе.

159. **Затменія.** *а*) Земля, освѣщаемая солнцемъ, (подобно непрозрачному тѣлу на фигурѣ 244) отбрасываетъ въ міровое пространство тѣневой конусъ, состоящій изъ полной тѣни и полутѣни. Длина этого конуса и его діаметръ на извѣстномъ разстояніи отъ земли зависятъ: 1) отъ діаметра солнца, 2) отъ діаметра земли и 3) отъ разстоянія обоихъ этихъ небесныхъ тѣлъ другъ отъ друга.

Такъ какъ луна, въ качествѣ спутника, вращается вокругъ нашей земли и такъ какъ земная тѣнь длиннѣе разстоянія земли отъ луны, то послѣдняя можетъ вступать въ тѣневую область и отъ этого затемняться (**лунное затменіе**).

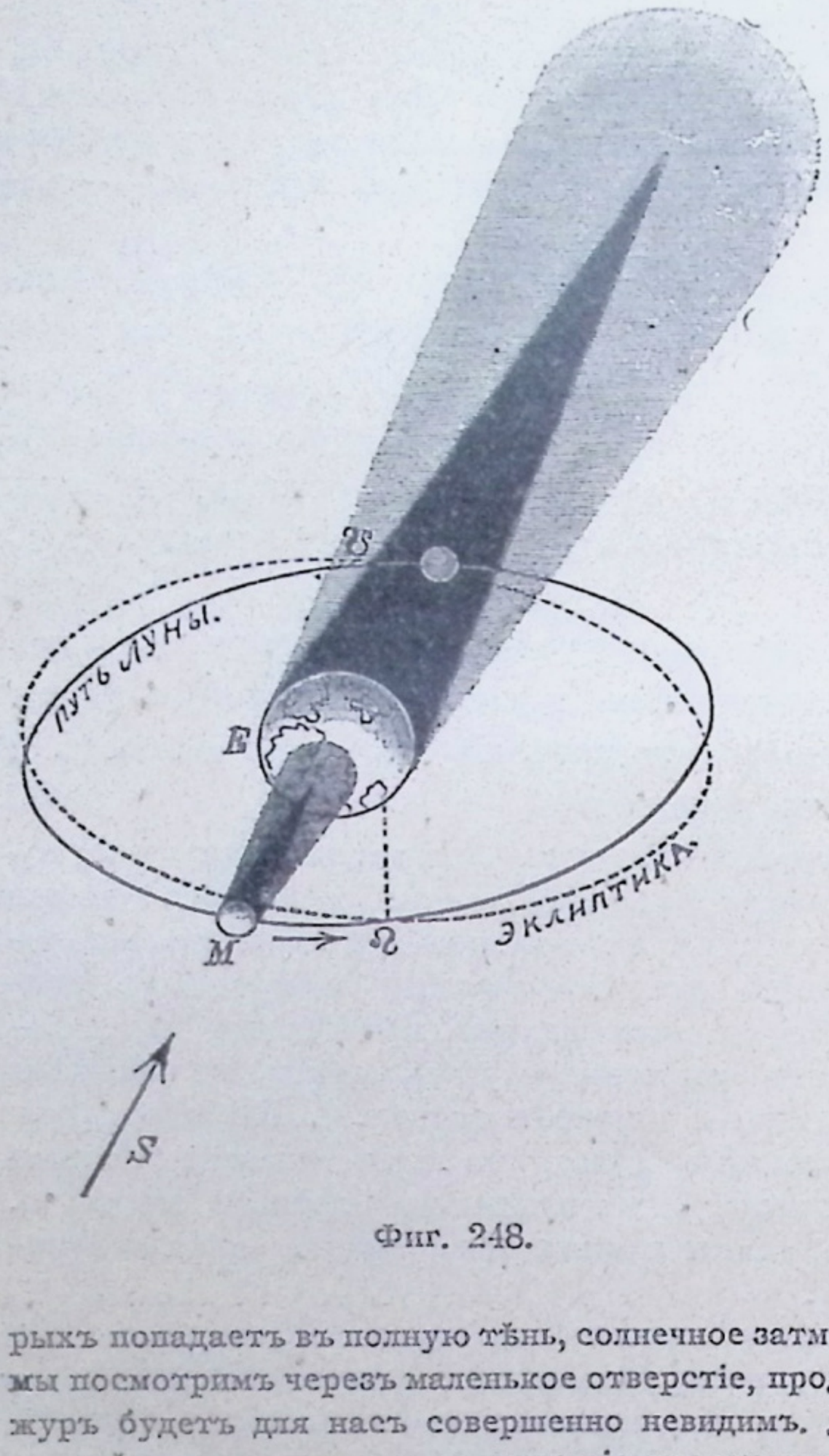
Такъ какъ діаметръ тѣневого конуса земли на томъ разстояніи, на которомъ луна вращается вокругъ земли, гораздо больше діаметра луны, то понятно, что луна не только можетъ вполнѣ покрыться тѣнью земли, но можетъ даже въ теченіе нѣкотораго времени продолжать свое движеніе, не выходя изъ предѣловъ тѣневого конуса. Когда вся луна войдетъ въ полную тѣнь земли, то она вся затмевается и получается полное лунное затменіе. Если же она проходитъ только по краю полной тѣни, то затемняется только часть луннаго диска, и происходитъ неполное лунное затменіе. Вступленіе луны въ полутѣнь земли вызываетъ только едва замѣтное ослабленіе луннаго свѣта.

Если бы путь (орбита) луны лежалъ въ одной и той же плоскости съ орбитой земли, то при каждомъ полнолуніи происходило бы полное лунное затменіе. Но такъ какъ плоскости обѣихъ орбитъ образуютъ уголъ почти въ 5^0 (фиг. 248), то полнолуніе въ большинствѣ случаевъ стоитъ настолько выше или ниже эклиптики, что не попадаетъ въ тѣнь земли, а проходитъ или выше или ниже послѣдней. Лунное же затменіе происходитъ только тогда, когда полная луна находится вблизи эклиптики (фиг. 248).

б) При лунномъ затменіи земля должна находиться между солнцемъ и луной. Но взаимное положеніе этихъ трехъ небесныхъ тѣлъ можетъ быть и таково, что луна находится между

солнцемъ и землей. Въ этомъ случаѣ, который можетъ наступить только тогда, когда луна во время новолунія находится вблизи эклиптики (фиг. 248), тѣнь луны можетъ попасть на земную поверхность, при чемъ луна вполнѣ или отчасти закроетъ для насъ солнце. Тогда происходитъ полное или неполное **солнечное затменіе.**

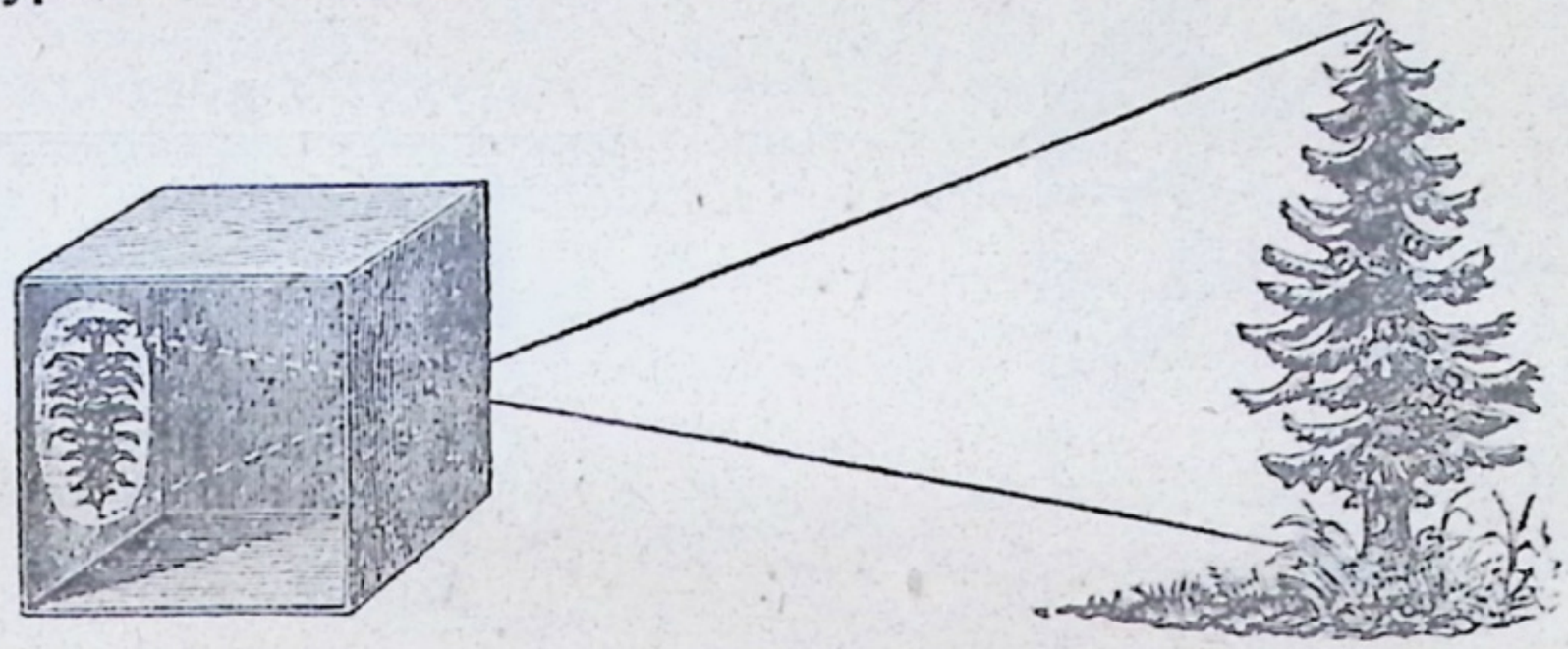
Приспособленія, примѣненныя для опыта, изображеннаго на фиг. 244, позволяютъ намъ на опытѣ воспроизвести явленія, подобныя лунному и солнечному затменіямъ. Пусть сначала ламповый шарообразный абажуръ изображаетъ солнце, а выкрашенный въ бѣлый цвѣтъ шаръ —землю. Если мы возьмемъ теперь меньшаго размѣра деревянный шарикъ, имѣющій свѣтлую окраску, который будетъ представлять намъ луну, и введемъ его въ тѣневую область «земли» (напр. въ томъ мѣстѣ, гдѣ обозначено положеніе экрана I), то наша «луна» затмится или вся, если она вся будетъ въ полной тѣни, или же отчасти, если только часть ея попадетъ въ полную тѣнь. Для солнечнаго затменія ламповый абажуръ опять долженъ изображать солнце, большій деревянный шаръ—луну, а экранъ I, на которомъ можно наклеить плоскошарія, пусть представляетъ землю. Тогда на «землѣ» мы увидимъ тѣнь, форма которой подобна изображенію на фиг. 215. Тѣмъ обитателямъ земли, мѣстопребываніе которыхъ попадаетъ въ полную тѣнь, солнечное затменіе представляется полнымъ; если мы посмотримъ черезъ маленькое отверстіе, продѣланное въ экранѣ при *a*, то абажуръ будетъ для насъ совершенно невидимъ. Для мѣстъ «земли», попавшихъ въ полутѣнь луны, солнечное затменіе представляется неполнымъ; если мы посмотримъ черезъ отверстіе *b*, то увидимъ только часть шарообразнаго абажура въ видѣ серпа. Если мы передвинемъ экранъ въ положеніе II (т. е. если вершина тѣни луны не достигаетъ до земли), то, смотря черезъ отверстіе *c*, мы увидимъ часть абажура въ видѣ свѣтящагося кольца; это положеніе соотвѣтствуетъ третьей формѣ солнечнаго затменія, кольцеобразному затменію. Само собой разумѣется, что опыты эти должны дѣлаться въ темной комнатѣ.



Фиг. 248.

При лунномъ затменіи затемняется луна; при солнечномъ, напротивъ, не солнце, а земля. Какое небесное тѣло отбрасываетъ тѣнь въ послѣднемъ случаѣ?

160. **Камера-обскура.** Если пучекъ солнечныхъ лучей проникаетъ черезъ маленькое отверстіе закрытаго ставня въ темную комнату, то на противоположной стѣнѣ комнаты получается свѣтлое по большей части эллиптическое пятно (**изображеніе солнца**). Такого рода солнечныя пятна образуются на землѣ, на которую падаетъ тѣнь отъ дерева, на дорожкѣ аллеи и пр. Чтобы объяснить ихъ появленіе, возьмемъ ящикъ съ черными внутри стѣнками и съ маленькимъ отверстіемъ на передней стѣнкѣ (**камера-обскура**) и поставимъ его передъ ярко освѣщеннымъ предме-



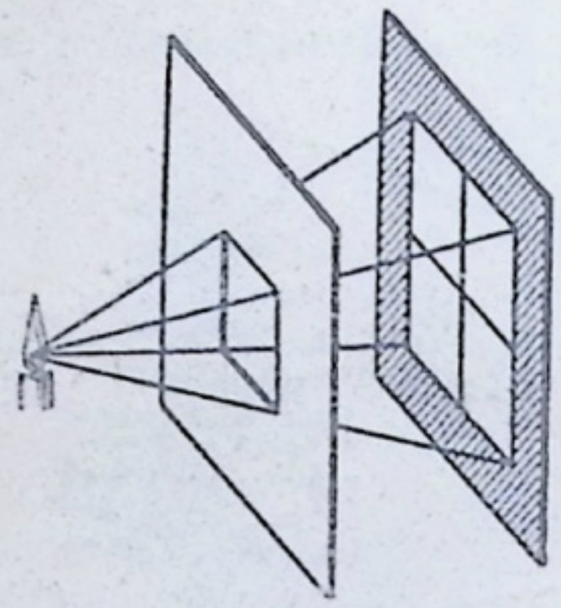
Фиг. 249.

томъ. На задней стѣнкѣ ящика образуется тогда обратное и по большей части уменьшенное изображеніе предмета. Отъ каждой точки свѣтящагося или хорошо освѣщеннаго предмета (напр., дерева на фиг. 249) повсѣмъ направленіямъ исходятъ прямолинейные свѣтовые лучи. Изъ лучей, исходящихъ, напр., отъ верхушки дерева, въ темное пространство черезъ маленькое отверстіе въ стѣнкѣ проникаетъ только лучъ, изображенный на фиг. 249; прочіе лучи не имѣютъ доступа. Благодаря этому на задней стѣнкѣ ящика можетъ образоваться маленькое яркое изображеніе верхушки дерева. То же самое относится и ко всѣмъ прочимъ точкамъ предмета. Поэтому на задней стѣнкѣ получится обратное изображеніе всего предмета; величина этого изображенія зависитъ, очевидно, отъ разстоянія предмета отъ отверстія, а также отъ разстоянія отъ него же задней стѣнки камеры.

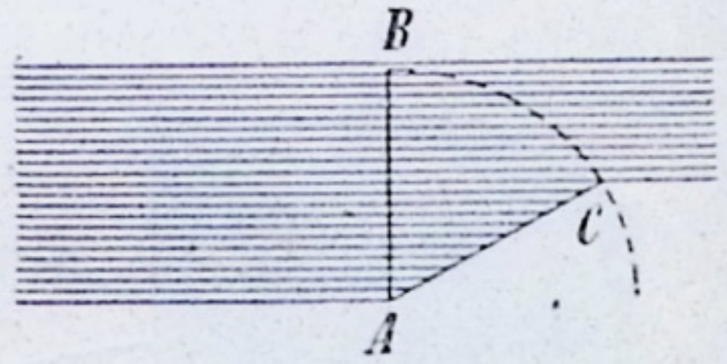
Во время неполнаго солнечнаго затменія солнечныя пятна на затѣненной аллеѣ бываютъ серповидныя. Почему?

161. **Сила освѣщенія. Сила свѣта.** *а*) Вырѣжемъ въ обклеенномъ бѣлой бумагой кускѣ картона квадратное отвер-

стіе, равное площади 1 **кв. дец.**, и поставимъ этотъ картонъ какъ разъ по срединѣ между пламенемъ свѣчи и бѣлой стѣнкой (фиг. 250). На стѣнкѣ получится освѣщенный квадратъ, однако слабѣе освѣщенный, чѣмъ бѣлая бумага на картонѣ. Измѣривъ сторону этого квадрата, найдемъ, что она равна 2 **дец.**; слѣдовательно, площадь квадрата 4 **кв. дец.** будетъ вчетверо больше площади квадратной вырѣзки. Такимъ образомъ, извѣстное количество свѣтовыхъ лучей, прошедшихъ черезъ вырѣзанный квадратъ, освѣщаетъ на стѣнѣ, вдвое болѣе отдаленной, вчетверо большую площадь, чѣмъ площадь вырѣзки; по-



Фиг. 250.



Фиг. 251.

этому сила освѣщенія на стѣнѣ въ четыре раза меньше, чѣмъ на площади квадратной вырѣзки. (Повторите этотъ опытъ, взявъ разстояніе стѣны отъ картона вдвое, втрое, вчетверо большее, чѣмъ разстояніе свѣчи отъ квадратной вырѣзки!).

Степень яркости, обнаруживаемая освѣщеннымъ тѣломъ, или **сила освѣщенія**, уменьшается съ удаленіемъ отъ источника свѣта, и при томъ такъ, что при увеличеніи разстоянія въ 2, 3, 4, 5... разъ, сила освѣщенія уменьшается въ 4, 9, 16, 25 разъ. Слѣдовательно, сила освѣщенія обратно пропорціональна квадрату разстоянія.

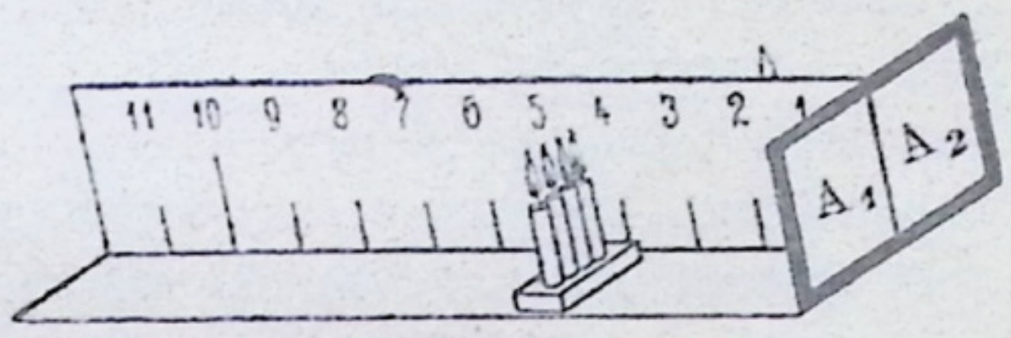
Поставимъ теперь поверхность бѣлаго листа бумаги передъ источникомъ свѣта такимъ образомъ, чтобы лучи падали перпендикулярно къ срединѣ поверхности, а затѣмъ станемъ все болѣе и болѣе отклонять листъ отъ свѣта; мы убѣдимся, что сила освѣщенія измѣняется съ угломъ наклоненія.

На фиг. 251 видно, что на наклонную къ направленію лучей поверхность *AC* падаетъ меньше свѣтовыхъ лучей, чѣмъ на одинаковую по величинѣ плоскость *AB*, перпендикулярную къ направленію лучей. Поэтому площадь *AC* должна освѣщаться слабѣе, чѣмъ площадь *AB*, отсюда слѣдуетъ.

Сила освѣщенія данной площади тѣмъ меньше, чѣмъ меньше уголъ, составляемый свѣтовыми лучами съ освѣщаемой площадью.

б) Сила освѣщенія зависитъ также отъ силы свѣченія, или **силы свѣта** самого источника свѣта. Для измѣренія силы свѣта необходима единица свѣта. Обыкновенно за единицу свѣта принимается пламя опредѣленной свѣчи (парафиновой свѣчи въ 2 **цт** въ діаметрѣ съ высотой пламени въ 5 **цт**); такая свѣча называется нормальной свѣчей. Приборъ, служащій для сравненія силы свѣта различныхъ источниковъ свѣта, называется фотометромъ (т. е. измѣрителемъ свѣта).

На фиг. 252 изображенъ одинъ изъ простѣйшихъ фотометровъ. Двѣ матовыхъ стеклянныхъ пластинки A_1 и A_2 освѣщаются сзади сравниваемыми источниками свѣта. Если, напр., нормальная свѣча находится сзади пластинки A_2 на разстояніи 2 единицъ длины отъ послѣдней, то мы помѣщаемъ источникъ свѣта, силу котораго мы желаемъ опредѣлить (напр. маленькую керосиновую лампу), позади A_1 и передвигаемъ до тѣхъ поръ, пока освѣщеніе A_1 и A_2 не окажется одинаково сильнымъ. Если, напр., это произойдетъ тогда, когда испытуемый источникъ свѣта находится на разстояніи 4 единицъ длины отъ A_1, то нужно величины обоихъ разстояній (т. е. 4 и 2) возвысить въ квадратъ и квадратъ разстоянія испытуемаго источника свѣта раздѣлить на квадратъ разстоянія нормальной свѣчи (т. е. 16 : 4). Частное (въ нашемъ случаѣ 4) покажетъ намъ, сколькимъ нормальнымъ свѣчамъ равенъ по силѣ свѣта испытуемый источникъ свѣта Правильность такого опредѣленія можно доказать, помѣстивъ позади A_1 на разстояніи 4 единицъ длины четыре какъ можно ближе другъ къ другу поставленныхъ нормальныхъ свѣчи; оба экрана A_1 и A_2 будутъ тогда одинаково сильно освѣщены.



Фиг. 252.

Наибольшую силу свѣта мы получаемъ отъ источника свѣта при бѣломъ каленіи. Желтоватое и красноватое пламя свѣтитъ слабѣе. (Сила свѣта газоваго пламени усиливается при примѣненіи ауэровской газокалильной горѣлки). Если мы примемъ силу свѣта нормальной свѣчи за 1, то сила свѣта обыкновенной разрѣзной газовой горѣлки равна около 16, ауэровской горѣлки=40—80, вольтовой дуги = 500 — 5000. Сила солнечнаго свѣта равна 60.000 нормальныхъ свѣчей на разстояніи 1 м.

Чѣмъ больше сила свѣта какого-либо источнияа свѣта и чѣмъ меньше расходъ освѣтительнаго матеріала (газа, воска, стеарина, керосина и т. д.) въ извѣстное время, тѣмъ больше **освѣтительная способность** даннаго матеріала

162. **Отраженіе свѣта.** Черезъ маленькое отверстіе въ ставнѣ въ темную комнату входитъ пучекъ солнечныхъ лучей. Если на

пути этихъ лучей поставить обыкновенную стеклянную пластинку, то лучи пройдутъ черезъ нее, такъ какъ она представляетъ собой прозрачное тѣло. Возьмемъ теперь такую стеклянную пластинку, одна сторона которой покрыта блестящимъ какъ серебро слоемъ металла, или же металлическую пластинку, тщательно отполированную съ одной стороны. Каждая изъ этихъ двухъ пластинокъ непрозрачна, съ первой же пластинкой онѣ имѣютъ то общее свойство, что поверхности всѣхъ трехъ совершенно гладки. Повторимъ тотъ же опытъ съ непрозрачными пластинками. Мы увидимъ, что солнечные лучи уже не проходятъ чразъ пластинку, а какъ бы отскакиваютъ отъ нея, отбрасываются ею. Если мы поставимъ пластинку перпендикулярно къ направленію лучей, то послѣдніе отбрасываются отъ пластинки назадъ по прямолинейному направленію. Напротивъ, если пластинку мы будемъ держать подъ острымъ угломъ къ направленію лучей, то послѣдніе отразятся отъ пластинки также подъ острымъ угломъ. При этомъ на потолкѣ на продолженіи отраженныхъ лучей появляется свѣтлое пятно. Если мы немного повернемъ пластинку, это свѣтлое пятно перемѣстится. Если мы приставимъ къ пластинкѣ карандашъ такъ, чтобы онъ прикасался къ послѣдней въ точкѣ паденія на нее лучей и былъ перпендикуляренъ къ ней, то уже на глазомѣръ замѣтимъ, что уголъ, образуемый отразившимися отъ пластинки лучами и карандашемъ, равенъ углу, составленному падающими на пластинку лучами и карандашемъ.

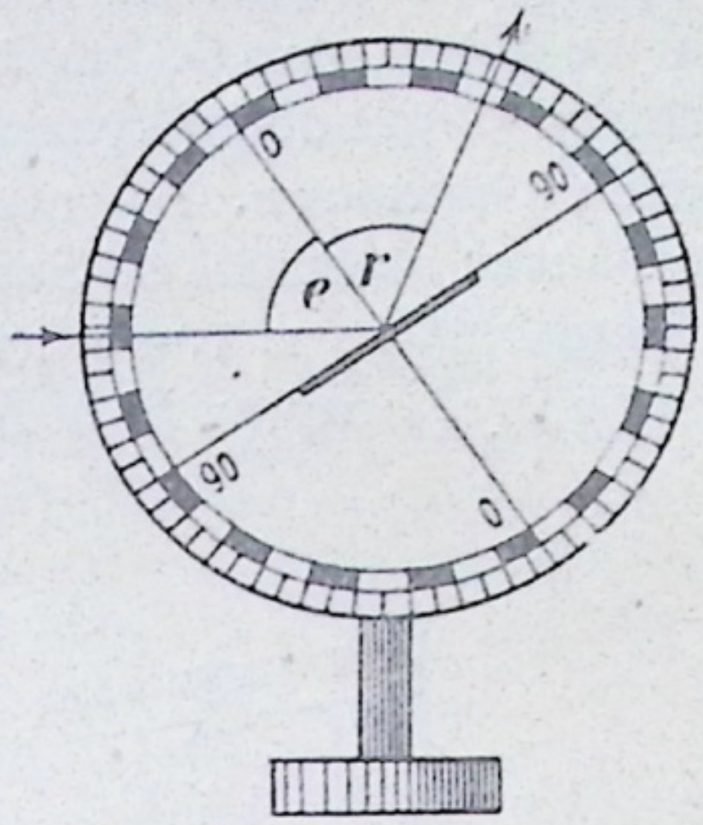
Сравните эти явленія съ движеніемъ упругаго шара (резиноваго мяча), который въ первомъ случаѣ ударяется о стѣну перпендикулярно къ ней, а во второмъ — наклонно (§ 143).

Повторимъ описанный опытъ еще разъ съ обыкновенной стеклянной пластинкой; по свѣтлому пятну на потолкѣ мы увидимъ, что и отъ нея часть свѣта отскакиваетъ. Это свѣтлое пятно обладаетъ однако весьма малой ясностью по сравненію съ пятномъ въ предыдущемъ опытѣ, такъ какъ гораздо большая часть солнечныхъ лучей безъ ослабленія проходитъ черезъ обыкновенную стеклянную пластинку и только очень немногіе лучи отскакиваютъ отъ нея.

Гладко отполированная и совершенно плоская поверхность называется **плоскимъ зеркаломъ**. Если солнечные лучи попадаютъ на прозрачное плоское зеркало, но не покрытое блестящимъ металлическимъ слоемъ, то небольшая

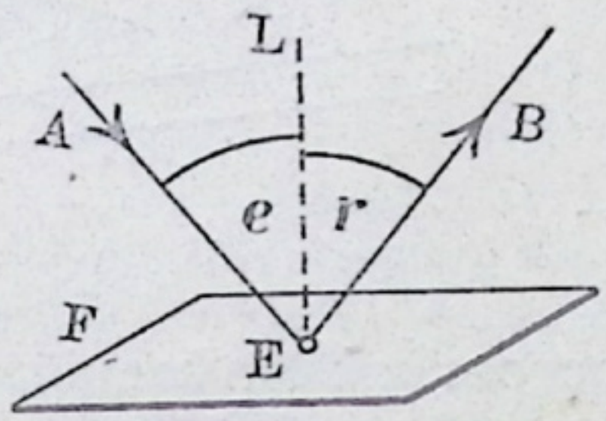
часть ихъ отбрасывается, а если падаютъ лучи на непрозрачное (покрытое металлическимъ слоёмъ или сдѣланное изъ металла) зеркало, то большая часть падающихъ лучей отскакиваетъ отъ поверхности зеркала. Это отскакиваніе лучей называется **отраженіемъ свѣта.**

Описанный выше опытъ повторимъ еще съ приборомъ, называемымъ оптической шайбой (фиг. 253). Вращающійся въ вертикальной плоскости кругъ, покрытый бѣлой бумагой и раздѣленный на части, какъ указано на фигурѣ, укрѣпляется на подставкѣ. По направленію діаметра круга, соединяющаго двѣ точки, обозначенныя 90^0, придѣлано перпендикулярно къ плоскости круга маленькое стеклянное или металлическое зеркало. Горизонтальный пучекъ лучей, падающій параллельно плоскости шайбы, будетъ отражаться зеркаломъ. Углы e и r, образуемые падающимъ и отраженнымъ лучами съ перпендикуляромъ въ точкѣ паденія (OO), могутъ быть измѣрены по дѣленіямъ круга и всегда бываютъ равны между собой, какъ бы ни измѣнялся уголъ e при вращеніи круга.



Фиг. 253.

Если при вышеприведенныхъ опытахъ мы представимъ себѣ перпендикуляръ LE (фиг. 254), возставленный къ плоскости зеркала въ той его точкѣ E, куда падаютъ лучи (точка паденія), то этотъ перпендикуляръ образуетъ равные углы какъ съ падающимъ лучемъ, такъ и съ отраженнымъ. Первый уголъ называется угломъ паденія (e), второй — угломъ отраженія (r). Падающій лучъ, перпендикуляръ, возставленный къ плоскости зеркала въ точкѣ паденія, и отраженный лучъ лежатъ въ одной и той же плоскости, называемой плоскостью паденія; при всякомъ отраженіи уголъ отраженія равенъ углу паденія.

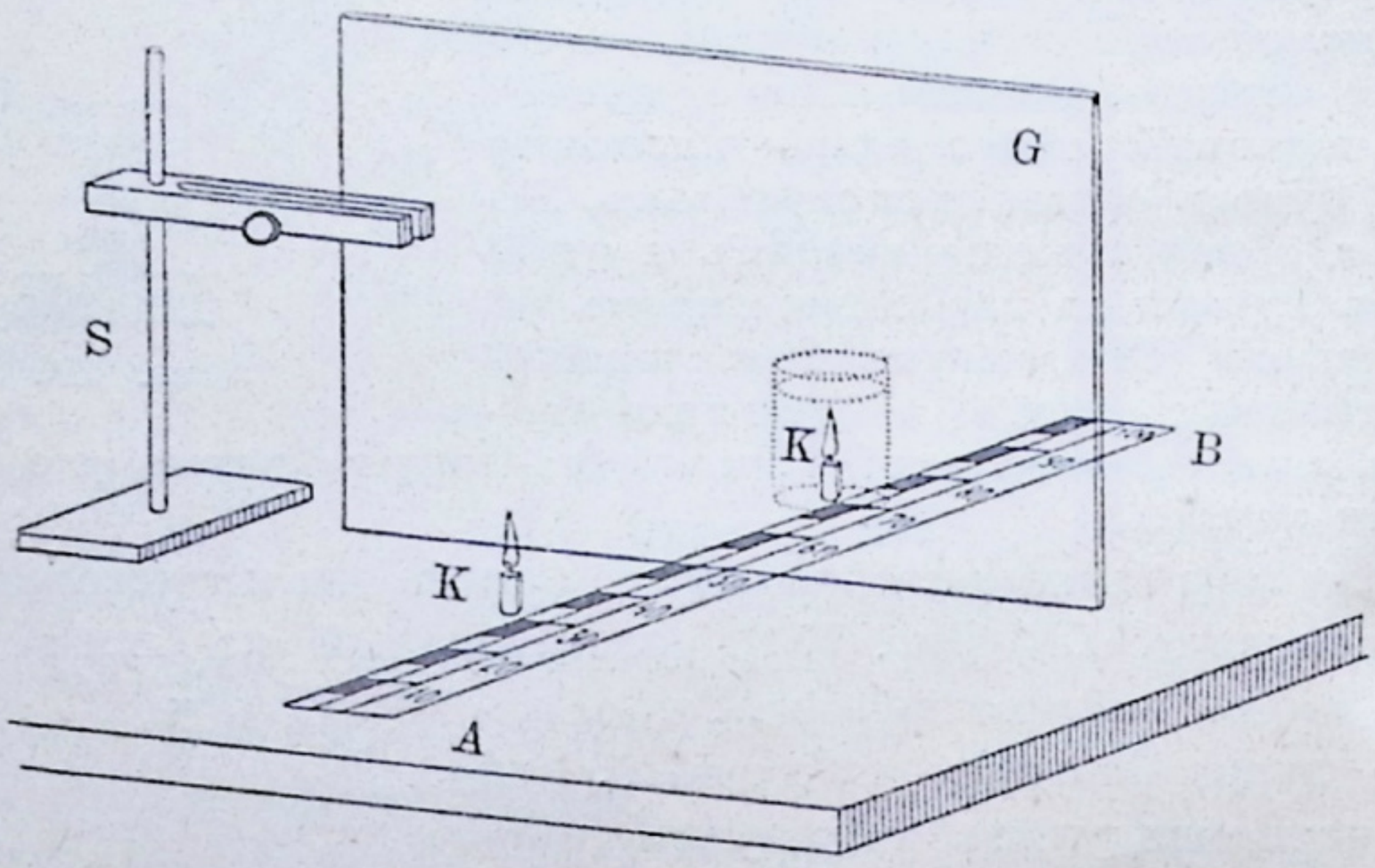


Фиг. 254.

Если свѣтовой лучъ падаетъ на зеркало перпендикулярно, то онъ отражается по направленію прямо противоположному направленію его паденія. Такой лучъ, падающій перпендикулярно на плоскость зеркала и отражаемый по прямо противоположному направленію, мы называемъ главнымъ лучемъ. Для главнаго луча уголъ паденія $= 0^0$; а потому и уголъ отраженія также $= 0^0$.

Задачи. 1. Падающій лучъ образуетъ съ плоскостью зеркала уголъ въ 30°; чему равенъ уголъ паденія? **2.** Падающій лучъ образуетъ съ плоскостью зеркала уголъ въ 45°; чему равенъ каждый изъ трехъ другихъ угловъ, вершины которыхъ сходятся въ точкѣ паденія?

163. **Зеркало.** *а*) Прикрѣпимъ на столѣ кнопками бумажную полоску AB (фиг. 255), имѣющую въ длину 1 м и раздѣленную на центиметры. На 50-мъ дѣленіи поставимъ стеклянную пластинку G перпендикулярно къ плоскости стола и къ нашей бумажной полоскѣ. Въ такомъ положеніи пластинку укрѣпимъ съ помощью штатива S. Затѣмъ затемнимъ по возможности комнату и около 30-го и 70-го дѣленій поставимъ по маленькому стеариновому огарку K и K_1. Оба огарка находятся, значитъ, на



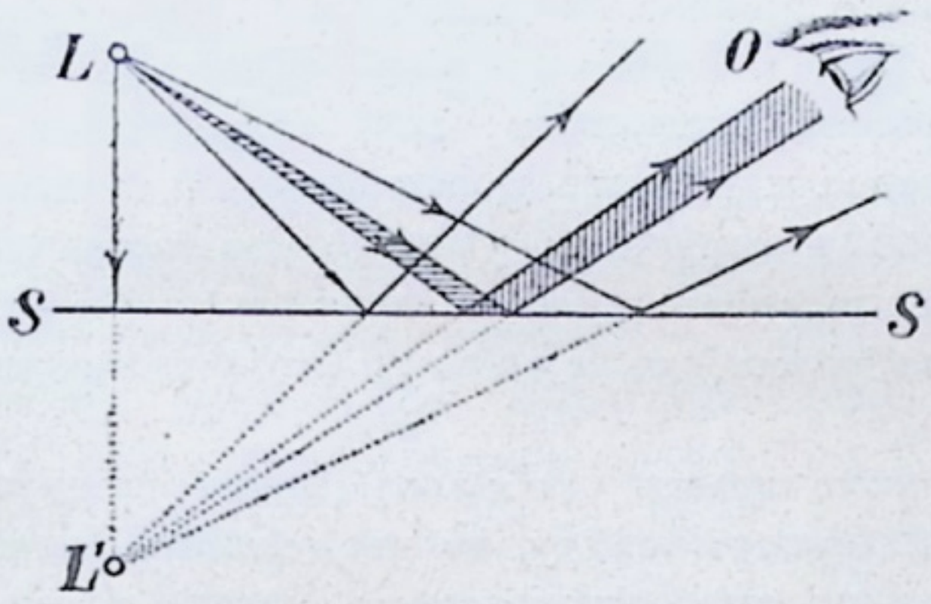
Фиг. 255.

разстояніи 20 дѣленій отъ стеклянной пластинки. Теперь зажжемъ огарокъ K, будемъ смотрѣть на стеклянную пластинку спереди; при этомъ намъ будетъ казаться, что горитъ и стоящій за стеклянной пластинкой огарокъ K_1; намъ будетъ казаться, что на его фитилѣ стоитъ пламя, которое мы называемъ отраженіемъ пламени свѣчи K. Если мы свѣчу K (предметъ) поставимъ у 40-го дѣленія, слѣдовательно, мы приблизимъ ее къ стеклянной пластинкѣ, то K_1 мы должны поставить на 60-е дѣленіе. Если мы удалимъ предметъ отъ стеклянной пластинки и помѣстимъ его, напр., у 20-го дѣленія, то изображеніе также удалится отъ стеклянной пластинки; чтобы оно опять совпало со свѣчей K_1, послѣднюю нужно поставить у 80-го дѣленія. Красивая картина получается при такомъ видоизмѣненіи опыта: горящую свѣчу ставятъ на 30-е дѣленіе, а на 70-е — помѣщаютъ ста-

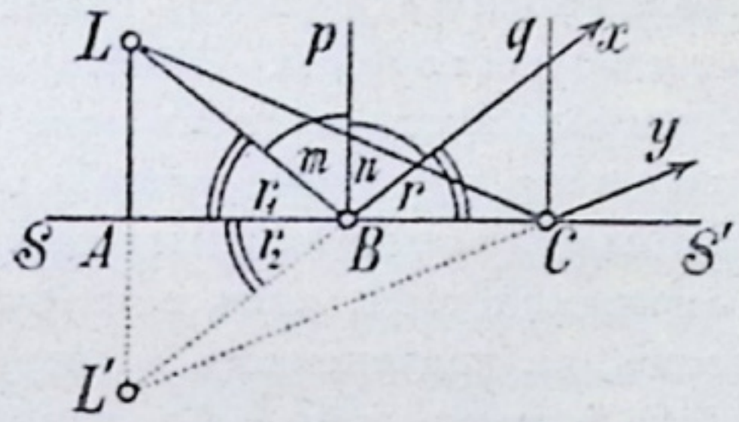
канъ съ водой (фиг. 255). Тогда кажется, что свѣча горитъ за стеклянной пластинкой въ стаканѣ съ водой. Изъ всѣхъ этихъ опытовъ мы выводимъ слѣдующій законъ.

Въ **плоскомъ зеркалѣ** предметъ даетъ свое изображеніе; послѣднее находится за зеркаломъ на одной прямой съ самимъ предметомъ, перпендикулярной къ зеркалу, и на такомъ же разстояніи отъ послѣдняго, какъ и предметъ.

Попробуемъ объяснить это явленіе. На фиг. 256 буквами SS' обозначено зеркало. Въ L находится пламя свѣчи, испускающей лучи по всѣмъ направленіямъ. На фиг. показанъ ходъ нѣсколькихъ изъ этихъ лучей, отразившихся, согласно доказаннымъ въ предыдущемъ параграфѣ „законамъ отраженія“, отъ поверхности SS' зеркала. Всѣ лучи, какъ впослѣдствіи будетъ доказано геометрически, отражаются отъ зеркала такимъ образомъ, что для глаза O они



Фиг. 256.



Фиг. 257.

кажутся выходящими изъ одной точки L', лежащей на перпендикулярѣ LL', опущенномъ изъ точки L на плоскость зеркала, и находящейся за зеркаломъ на такомъ же разстояніи отъ него, на какомъ свѣтящаяся точка L расположена передъ нимъ. Такимъ образомъ, $L'S$ должно быть равно LS. Поэтому, если часть этихъ лучей, напр. означенный на фиг. штрихами пучекъ, попадетъ въ нашъ глазъ, то послѣдній увидитъ источникъ свѣта въ точкѣ L', т. е. по прямой линіи на продолженіи попавшихъ въ глазъ лучей. Понятно, что въ дѣйствительности этого источника свѣта въ точкѣ L' нѣтъ и что на самомъ дѣлѣ онъ не испускаетъ самъ свѣтовыхъ лучей; поэтому онъ называется мнимымъ (т. е. кажущимся) изображеніемъ источника свѣта L.

Для доказательства равенства линій LA и $L'A$ (фиг. 257) построимъ для падающаго луча LB отраженный лучъ Bx; съ этой цѣлью мы проведемъ Bp перпендикулярно къ SS' и построимъ уголъ n, равный углу m; затѣмъ продолжимъ Bx за зеркало до пересѣченія въ точкѣ L' съ продолженіемъ прямой LA, перпендикулярной къ плоскости зеркала. Тогда и уголъ r_1 будетъ равенъ углу r, а вслѣдствіе равенства угловъ r_2 и r (вертикальные углы) равны будутъ и углы r_1 и r_2. Слѣдовательно, равны и треугольники LAB и $L'AB$, такъ какъ

сторона AB у нихъ общая, углы LAB и $L'AB$ прямые и уголъ r_1 равенъ углу r_2, какъ только что доказано; изъ равенства же этихъ треугольниковъ вытекаетъ, что прямая LA равна прямой $L'A$. Такое же самое построеніе и доказательство можно примѣнить и къ другому лучу (напр. LC и Cy); и этотъ лучъ послѣ отраженія будетъ казаться намъ выходящимъ изъ той же самой точки L'.

Стоящее на самомъ берегу пруда или озера дерево отражается въ зеркальной поверхности воды. Разсмотрите внимательно это изображеніе и скажите, что замѣтили вы въ положеніи изображенія по сравненію съ положеніемъ дерева! (Подобное расположеніе можно получить и при опытѣ, если зеркало установить горизонтально и на немъ поставить какой-нибудь предметъ). Объясните это явленіе! Если на какой-либо продолговатый орнаментъ (напр. меандръ) поставимъ маленькое зеркало (безъ рамы) такъ, чтобы оно составило съ продольнымъ направленіемъ орнамента уголъ, напр., въ 45^0, то мы получимъ правильное подъ извѣстнымъ угломъ стоящее изображеніе этого орнамента. Этотъ способъ примѣняется при рисованіи.

Предметъ, наклонно стоящій къ поверхности зеркала, даетъ такое же наклонное изображеніе. Однако, положеніе предмета и изображенія противоположны. Объясните это явленіе! Если вы стоите лицомъ къ зеркалу, то вы видите въ немъ свое изображеніе лицомъ, повернутымъ къ вамъ. Но правая рука изображенія расположена какъ разъ противъ вашей лѣвой руки. Если вы поставите передъ зеркаломъ рукопись, то увидите, что въ зеркалѣ она отразится такъ, какъ если бы была писана справа налѣво. Такимъ образомъ, на получаемыхъ въ зеркалѣ изображеніяхъ правая сторона предметовъ оказывается лѣвой и наоборотъ.

Если наклонимъ два зеркала подъ нѣкоторымъ угломъ другъ къ другу и поставимъ между ними предметъ, напр. горящую свѣчу, то мы увидимъ извѣстное число изображеній, расположенныхъ по окружности круга, центръ котораго совпадаетъ съ вершиной угла. Если зеркала образуютъ уголъ въ 60^0, то мы увидимъ 6 изображеній, при углѣ въ 45^0—8, а при углѣ въ 30^0—12 и т. д., считая въ томъ числѣ и самый предметъ.

Калейдоскопъ состоитъ изъ зрительной трубки, въ которой помѣщены наклоненныя другъ къ другу подъ угломъ зеркала. Если туда же всыпать кусочки разноцвѣтнаго стекла, то получаются звѣздообразныя отраженія, фигуры которыхъ быстро мѣняются при легкомъ встряхиваніи. Оконное стекло даетъ отраженное изображеніе только тогда, когда сзади него имѣется темный фонъ. Обычно употребляемыя зеркала представляютъ собой шлифованныя стеклянныя пластинки, задняя сторона которыхъ покрыта слоемъ блестящаго, какъ серебро, металла.

б) Такъ какъ всѣ идущіе отъ одной точки лучи отражаются плоскимъ зеркаломъ такъ, что всѣ они кажутся исходящими точно также изъ одной точки, то отраженіе свѣта отъ плоскихъ зеркалъ называется правильнымъ.

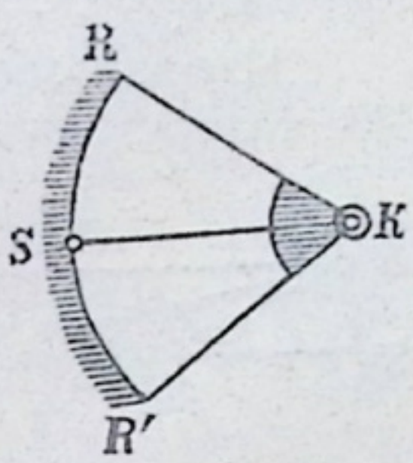
Неровныя, шероховатыя поверхности, наоборотъ, отражаютъ свѣтъ неправильно; онѣ разсѣиваютъ (разбрасываютъ во всѣ стороны) свѣтъ и не даютъ никакого изображенія. Онѣ становятся сами видимы въ отражен-

номъ свѣтѣ, тогда какъ зеркало, отъ котораго отраженный свѣтъ попадаетъ въ глазъ, само не воспринимается глазомъ; мы видимъ только изображеніе стоящаго передъ зеркаломъ предмета.

Важнѣйшими изъ явленій, которыя обясняются разсѣяніемъ свѣта, можно считать свѣтъ планетъ, разсѣянный дневной свѣтъ, а также утреннія и вечернія сумерки.

164. **Сферическія зеркала.** Не только плоскія, но и кривыя поверхности (напр. блестящіе шары, служащіе украшеніями въ садахъ, блестящія металлическія пуговицы, темныя винныя бутылки) отражаютъ свѣтъ, если онѣ гладки. Наиболѣе важное значеніе имѣютъ для насъ тѣ изъ кривыхъ зеркалъ, которыя представляютъ собой отрѣзки (сегменты) полированныхъ шаровыхъ поверхностей; мы называемъ такія зеркала **сферическими зеркалами.** Они дѣлятся на вогнутыя и выпуклыя зеркала, смотря по тому, отражаетъ ли внутренняя или наружная поверхность шара.

На фиг. 258 дуга круга RSR' представляетъ разрѣзъ вогнутаго зеркала; прямая KS, на которой расположены середина S зеркала и центръ K шара, частью котораго является зеркало (такъ называемый центръ кривизны), носитъ названіе главной оптической оси зеркала. Уголъ RKR', образуемый двумя радіусами, проведенными изъ центра K шара къ двумъ противолежащимъ точкамъ R и R' края зеркала, называется отверстіемъ зеркала; прямая $KS = KR = KR'$ — радіусомъ кривизны. Всякій лучъ, проходящій черезъ центръ кривизны, носитъ названіе главнаго луча. Всякій главный лучъ перпендикуляренъ къ малой части поверхности зеркала въ точкѣ паденія; поэтому такой лучъ отражается по тому же направленію, какъ и падаетъ, но въ обратную сторону.



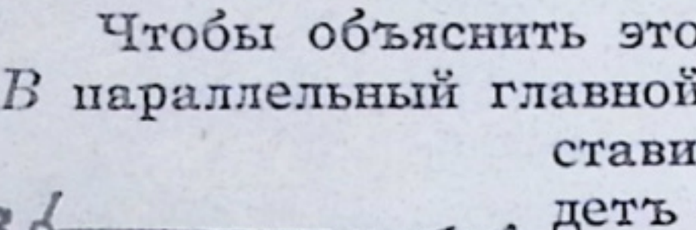
Фиг. 258.

165. **Вогнутое сферическое зеркало.** *а*) **Вогнутое** сферическое **зеркало** съ маленькимъ отверстіемъ*) (фиг. 259) будемъ держать противъ солнца такъ, чтобы лучи падали параллельно оси KS. Лучи эти послѣ отраженія соберутся (какъ это можно ясно видѣть по ярко освѣщеннымъ носящимся въ воздухѣ пылинкамъ)

---

*) При дальнѣйшихъ опытахъ и разсужденіяхъ подъ выраженіемъ «вогнутое зеркало» всегда будемъ разумѣть вогнутое сферическое зеркало съ маленькимъ отверстіемъ.

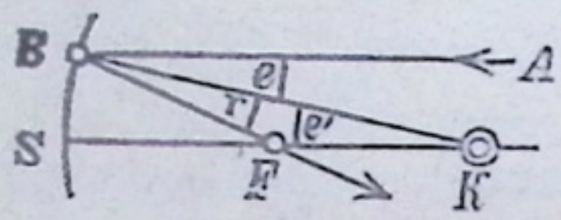
въ точкѣ F; послѣдняя лежитъ на равныхъ разстояніяхъ между K и S и легко можетъ быть найдена *), благодаря особенной силѣ свѣта въ этой точкѣ. Кусочекъ трута, внесенный въ послѣднюю, а также спичка загораются тамъ сами собой, если только зеркало достаточно велико. Точка F благодаря этому свойству получила названіе главнаго фокуса зеркала (по латыни фокусъ значитъ очагъ); она лежитъ по серединѣ между зеркаломъ и центромъ его кривизны. Разстояніе ея FS отъ зеркала называется главнымъ фокуснымъ разстояніемъ. Слѣдовательно, главное фокусное разстояніе равно половинѣ радіуса кривизны зеркала. Изъ изложеннаго вытекаетъ слѣдующій законъ для вогнутаго зеркала:



Фиг. 259.

а) Свѣтовые лучи, падающіе параллельно оси, собираются въ главномъ фокусѣ.

Чтобы объяснить это, разсмотримъ фиг. 260. Возьмемъ лучъ AB параллельный главной оптической оси; въ точкѣ паденія возставимъ перпендикуляръ, который здѣсь совпадетъ съ радіусомъ BK и построивъ уголъ r, равный углу e, получимъ отраженный лучъ BF. Такъ какъ углы e и e' равны, какъ накрестъ лежащіе, а слѣдовательно, равны и углы r и e', то въ треугольникѣ KBF стороны BF и FK равны. Если взятый нами лучъ AB лежитъ близко къ главной оси, а это мы можемъ принять для всѣхъ лучей, падающихъ на зеркало съ малымъ отверстіемъ, то можно съ достаточно большимъ приближеніемъ принять, что прямая $SF = BF$ и, значитъ, что $SF = FK$. Такъ какъ это же доказательство можно примѣнить ко всѣмъ лучамъ параллельнымъ главной оси, то всѣ эти лучи послѣ отраженія должны пройти черезъ одну точку F.



Фиг. 260.

б) На главной оси вогнутаго зеркала (фиг. 261), за центромъ кривизны **) или, иначе говоря, за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ находится ярко свѣтящаяся точка G (свѣтящійся предметъ, напр. конецъ электрической свѣтовой дуги и т. п.). Часть испускаемыхъ этой точкой лучей попадаетъ на

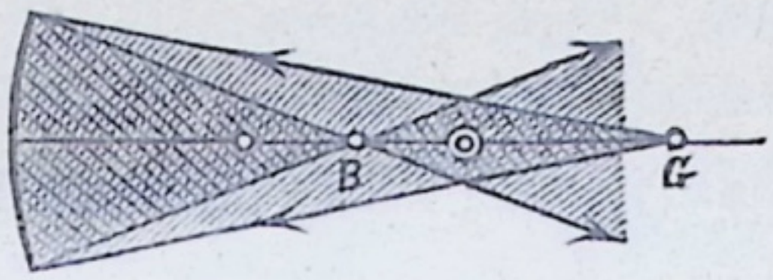
---

*) фиг. 259 и большая часть слѣдующихъ фигуръ изображаютъ только разрѣзъ зеркала по главной оси; поэтому для полнаго представленія всегда необходимо представить себѣ фигуру, сдѣлавшей одинъ оборотъ вокругъ оси.

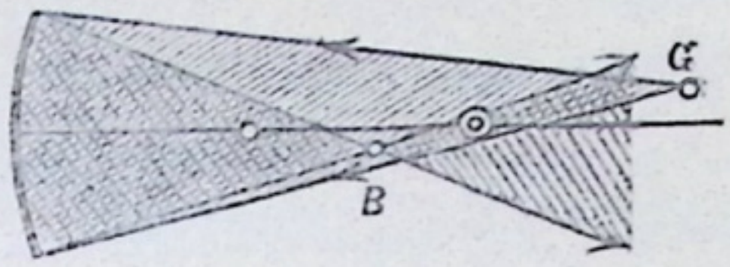
**) Центръ кривизны въ дальнѣйшихъ рисункахъ всегда будетъ обозначаться двойнымъ кружкомъ, а фокусъ простымъ кружкомъ.

поверхность зеркала; всѣ эти лучи въ цѣломъ образуютъ какъ бы конусъ, основаніемъ котораго служитъ поверхность зеркала, а вершиной точка *G*. Опытъ показываетъ, что послѣ отраженія всѣ эти лучи проходятъ черезъ точку *B* главной оси, находящейся между простымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ (фиг. 261).

Если мы вблизи точки *B* будемъ держать маленькій клочекъ бѣлой бумаги или небольшой кусокъ матоваго стекла, то на послѣднихъ появится маленькое, ярко освѣщенное, свѣтлое пятнышко; послѣднее представляетъ собой изображеніе точки *G*. Но это изображеніе, въ противоположность „мнимому изображенію“, съ которымъ мы познакомились при разсмотрѣніи плоскаго зеркала (*L'* на фиг. 256), является дѣйствительнымъ изображеніемъ; послѣднее мы можемъ получить на экранѣ, такъ что оно образуется „дѣйствительнымъ“ соединеніемъ (пересѣченіемъ) въ одной точкѣ свѣтовыхъ лучей. (Такимъ экраномъ можетъ послужить облако дыма, пущенное въ эту точку, частички пыли, введенныя въ воздухъ въ этомъ мѣстѣ). Если при этомъ мы нѣсколько наклонимъ зеркало (фиг. 262), то предметъ уже не будетъ находиться на главной оси; точно также и изображеніе его передвинется на противоположную сторону оси. Изъ сказаннаго мы получаемъ слѣдующій выводъ:



Фиг. 261.



Фиг. 262.

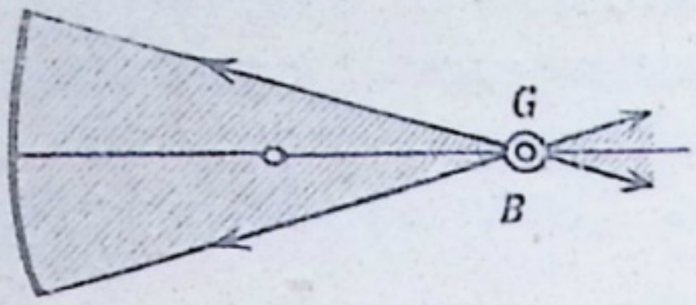
б) Свѣтовые лучи, исходящіе изъ точки, лежащей за двойнымъ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ, собираются въ одной точкѣ, находящейся между простымъ и двойнымъ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ.

в) Если помѣстить свѣтящуюся точку ближе къ центру кривизны, то изображеніе ея также приближается къ центру кривизны. Когда же наконецъ свѣтящаяся точка достигнетъ центра кривизны, то и ея изображенія также попадутъ въ одну точку (фиг. 263). (Прослѣдите, что будетъ при вращеніи зеркала около его середины). Такимъ образомъ мы замѣчаемъ слѣдующее:

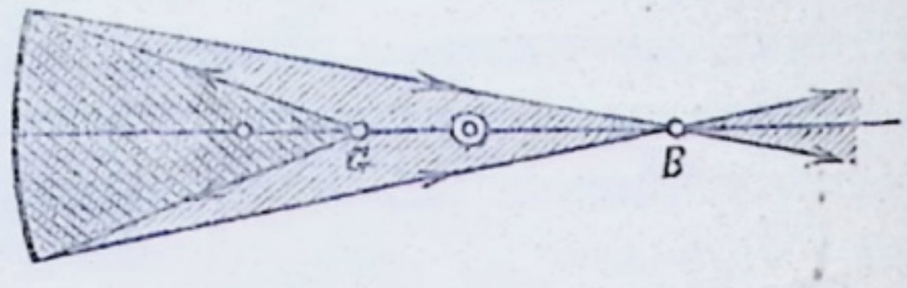
в) Лучи, исходящіе отъ свѣтящейся точки, находящейся отъ зеркала на двойномъ фокусномъ

разстояніи, послѣ отраженія снова собираются въ точкѣ, лежащей отъ зеркала на двойномъ фокусномъ разстояніи.

г) Если свѣтящаяся точка передвигается между простымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ (фиг. 264), то отраженные лучи собираются въ одной точкѣ за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ.



Фиг. 263.



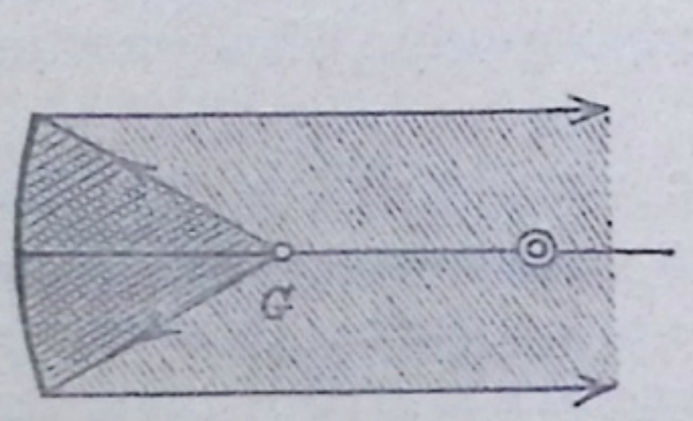
Фиг. 264.

г) Свѣтовые лучи, исходящіе отъ свѣтящейся точки, лежащей между простымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, собираются въ одной точкѣ за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ.

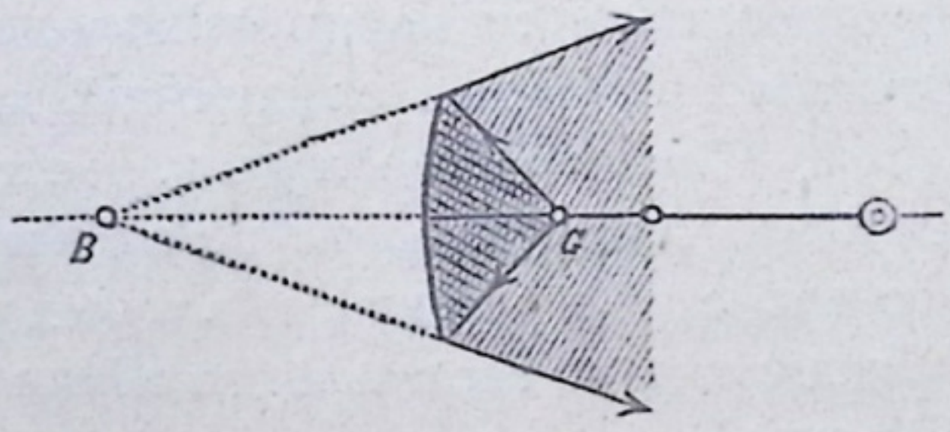
д) Если свѣтящаяся точка достигаетъ главнаго фокуснаго разстоянія, то лучи послѣ отраженія идутъ параллельно главной оптической оси (фиг. 265).

д) Свѣтовые лучи, исходящіе отъ свѣтящейся точки, находящейся въ главномъ фокусѣ, послѣ отраженія идутъ параллельно главной оптической оси.

е) Если, наконецъ, свѣтящаяся точка помѣщается между



Фиг. 265.



Фиг. 266.

главнымъ фокуснымъ разстояніемъ и зеркаломъ, то лучи послѣ отраженія будутъ расходящимися; при этомъ они кажутся исходящими изъ точки, лежащей за зеркаломъ на главной оптической оси (фиг. 266); слѣдовательно, глазъ, въ который попадаютъ послѣ отраженія такіе лучи, видитъ въ этой точкѣ мнимое изображеніе свѣтящейся точки. Итакъ,

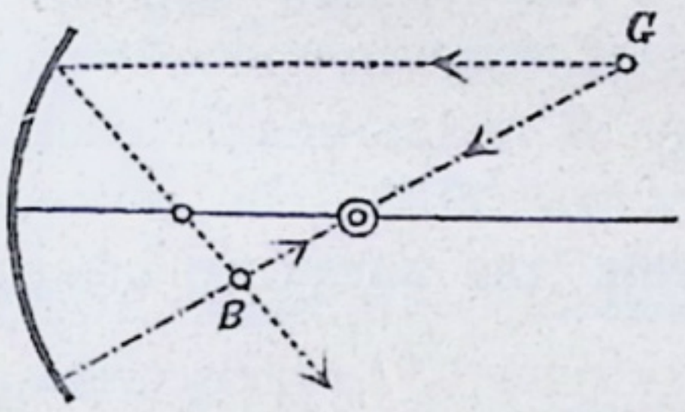
е) свѣтовые лучи, исходящіе отъ свѣтящейся точки, лежащей ближе фокуснаго разстоянія, по-

слѣ отраженія становятся расходящимися; ихъ продолженія пересѣкаются въ одной точкѣ.

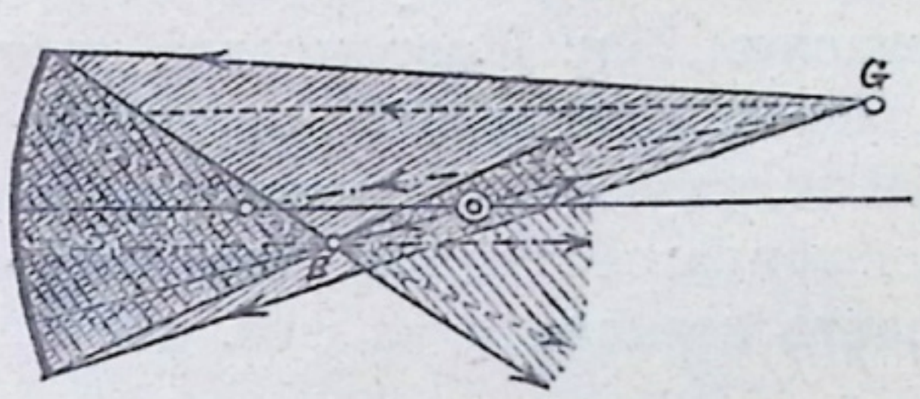
ж) Такимъ образомъ, во всѣхъ шести разсмотрѣнныхъ нами случаяхъ лучи, исходящіе отъ свѣтящейся точки (предмета), лежащей на главной оптической оси вогнутаго зеркала, послѣ отраженія снова собираются въ одну точку на главной оси (изображеніе) или же кажутся собравшимися въ такой точкѣ.

Для небольшихъ наклоненій или отклоненій зеркала вышесказанное остается вѣрнымъ въ томъ смыслѣ, что лучи, исходящіе отъ свѣтящагося предмета, находящагося вблизи главной оптической оси, послѣ отраженія точно также собираются, или кажутся собравшимися, въ одной точкѣ (изображеніе).

166. **Построеніе изображеній для вогнутыхъ сферическихъ зеркалъ.** *а*) На основаніи только что изложеннаго мы можемъ находить посредствомъ построенія „изображеніе“ свѣтящейся точки (фиг. 267), находящейся не на главной оптической оси, но



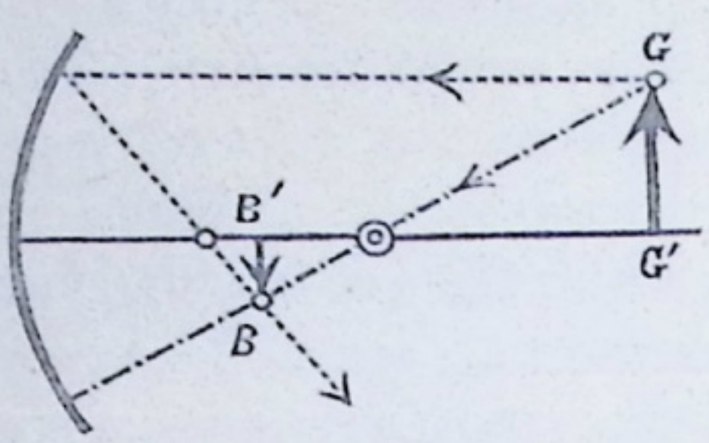
Фиг. 267.



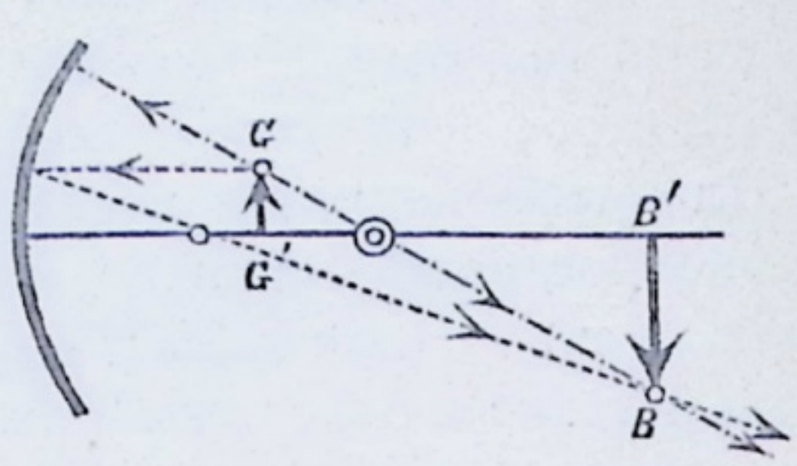
Фиг. 268.

вблизи послѣдней. Такъ какъ мы знаемъ, что всѣ исходящіе отъ G лучи должны собраться въ одной точкѣ B, то намъ достаточно получить точку взаимнаго пересѣченія лишь двухъ исходящихъ отъ G лучей, ходъ которыхъ послѣ отраженія мы можемъ опредѣлить. Для этой цѣли мы беремъ: 1) главный лучъ, отражающійся по той же прямой, по которой онъ падаетъ, только въ обратномъ направленіи (на фиг. 267 и на всѣхъ слѣдующихъ онъ нанесенъ штрихами и точками), 2) лучъ, параллельный главной оптической оси, послѣ отраженія проходящій черезъ главный фокусъ (на фиг. 267 и слѣдующихъ нанесенъ штрихами). Двухъ этихъ лучей достаточно для построенія изображенія. При этомъ никогда не надо забывать, что изображеніе получается не только отъ этихъ двухъ лучей, но и отъ безконечно большого числа другихъ. Фиг. 268 можетъ служить примѣромъ совокупности лучей, относящихся еще къ построенію, изображенному на фиг. 267.

b) Если вмѣсто свѣтящейся точки мы имѣемъ протяженный свѣтящійся предметъ, напр. свѣтящуюся стрѣлку GG' (фиг. 269), то мы опредѣляемъ по указанному способу изображеніе острія G, а что касается остального, то вспоминаемъ уже раньше путемъ опыта выясненный фактъ. Представимъ себѣ, что лучъ GB вращается около центра кривизны зеркала, пока G не

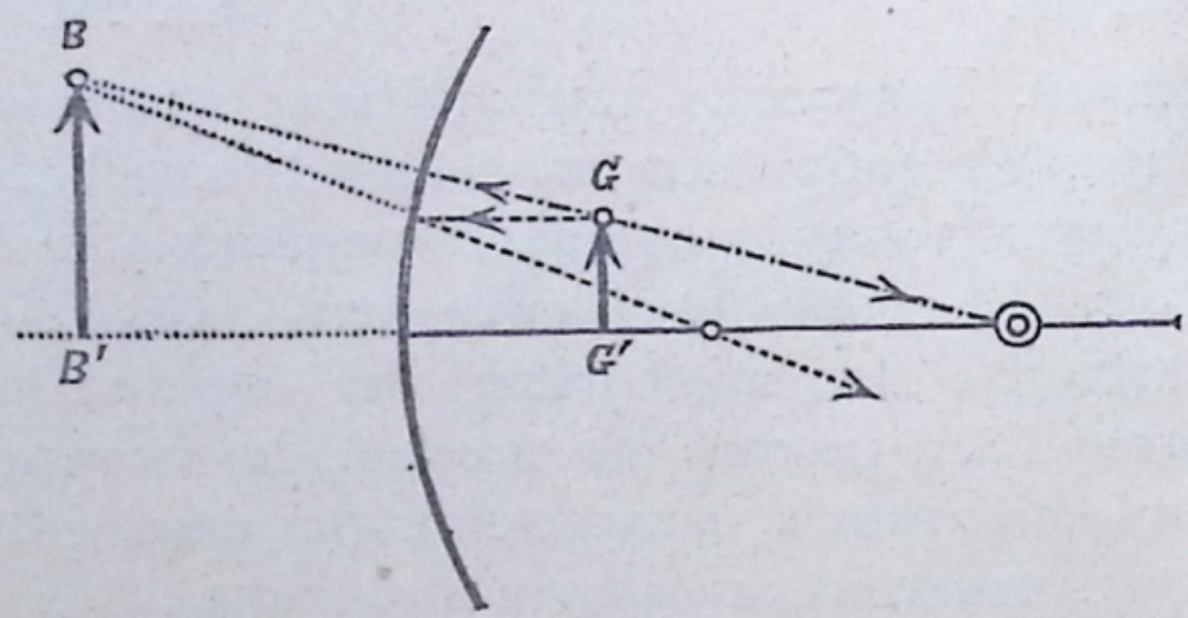


Фиг. 269.



Фиг. 270.

приблизится къ главной оптической оси; тогда и B поднимется къ главной оси; при этомъ G подходитъ на близкое разстояніе къ G' (вѣдь G уже и такъ было расположено вблизи главной оптической оси), а B соотвѣтственно приближается къ основанію B' перпендикуляра, который можно возставить изъ B' къ главной оси. Поэтому для построенія изображенія соотвѣтствующаго предмету GG', опредѣляютъ точку B и изъ нея на главную оптическую ось опускаютъ перпендикуляръ BB'. На основаніи сказаннаго сдѣлано **построеніе изображенія для вогнутаго сферическаго зеркала** и на фиг. 270 и 271.

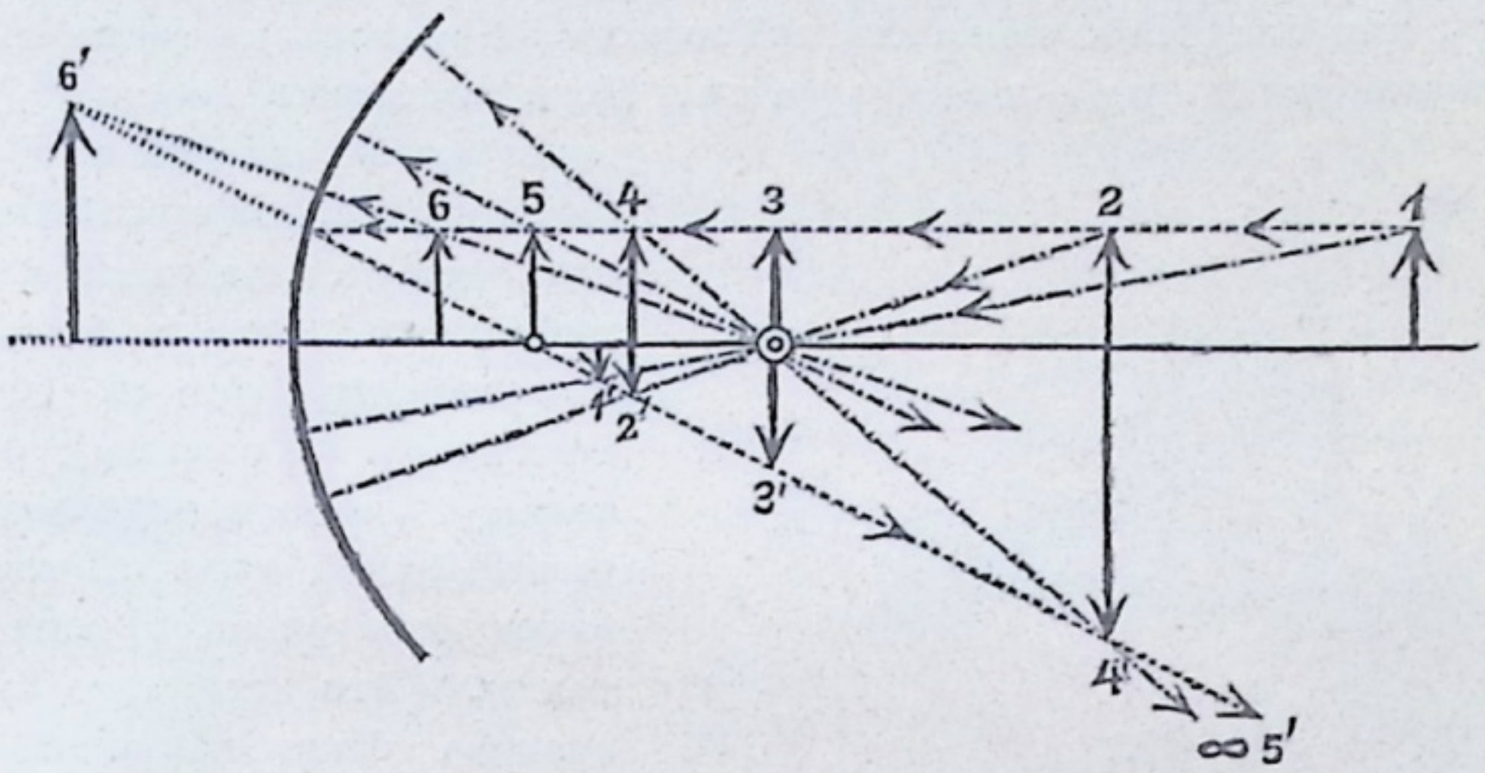


Фиг. 271.

Объясните оба рисунка! Построеніе, сдѣланное на фиг. 271, показываетъ, что получаемое въ этомъ случаѣ изображеніе только мнимое. (Какимъ образомъ)? Замѣтьте, что въ этомъ и въ подобныхъ случаяхъ продолженіе свѣтовыхъ лучей слѣдуетъ изображать только пунктиромъ. Если бы на фиг. 269 стрѣлка BB' изображала бы предметъ, то какъ надо было бы измѣнить построеніе? Что пришлось бы измѣнить, если бы на фиг. 270 стрѣлка BB' изо-

бражала бы предметъ? Исходя изъ этого, объясните, почему предметъ и его изображеніе, что касается ихъ положенія относительно зеркала, всегда могутъ замѣнять другъ друга (точки G и B', G' и B' и т. д. называются сопряженными).

167. **Изображенія въ вогнутыхъ зеркалахъ.** Если свѣтящійся предметъ (раскаленную нить электрической калильной лампочки, пламя свѣчи и т. п.) помѣстить на возможно большемъ разстояніи отъ вогнутаго зеркала (1 на фиг. 272), то между про-



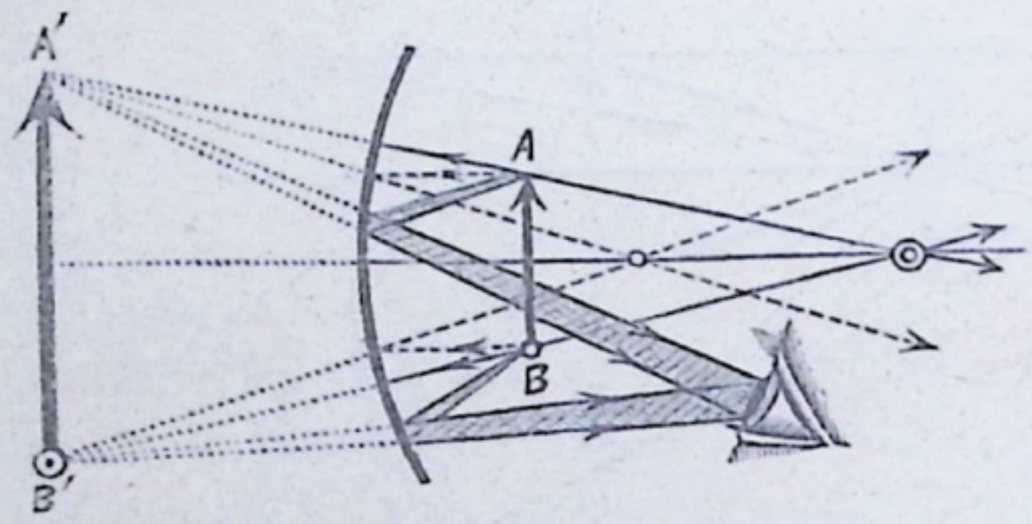
Фиг. 272.

стымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, и при томъ вблизи главнаго фокуса*) получается дѣйствительное изображеніе (1'), Это изображеніе будетъ обратнымъ и уменьшеннымъ. Если приблизить предметъ къ двойному фокусному разстоянію, такъ что онъ окажется въ (2), то изображеніе приблизится также къ центру кривизны (2') (замѣтьте, что изображеніе и предметъ перемѣщаются всегда въ противоположныхъ направленіяхъ!); при указанномъ положеніи предмета изображеніе остается дѣйствительнымъ и обратнымъ, величина же его возрастаетъ. Если предметъ находится на двойномъ фокусномъ разстояніи (3), то его изображеніе оказывается также на двойномъ фокусномъ разстояніи (3'); оно дѣйствительное, обратное и имѣетъ ту же самую величину, какъ и предметъ. Если помѣстить предметъ между двойнымъ и простымъ фокуснымъ разстояніемъ (4), то его дѣйствитель-

*) Если бы предметъ былъ безконечно удаленъ, то изображеніе его было бы какъ разъ въ главномъ фокусѣ. Что, слѣдовательно, представляетъ собой яркое свѣтовое пятнышко (не точка) при опытѣ съ солнечнымъ свѣтомъ, изображенномъ на фиг. 259?

ное, обратное и увеличенное изображеніе (4′) получится за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ. Когда предметъ находится на простомъ фокусномъ разстояніи (5), то изображеніе его можетъ получиться на безконечно большомъ разстояніи (обратите вниманіе на параллельность исходящихъ изъ острія стрѣлки 5 лучей послѣ ихъ отраженія). Если, наконецъ, предметъ находится ближе простого фокуснаго разстоянія (6) (между фокусомъ и зеркалокъ), то за зеркаломъ появляется мнимое, прямое и увеличенное изображеніе (6′).

Вогнутыя зеркала примѣняются въ такъ называемыхъ катоптрическихъ телескопахъ, для полученія сильныхъ свѣтовыхъ эффектовъ въ театрахъ, затѣмъ въ такъ называемыхъ прожекторахъ. Если поставить довольно большое вогнутое зеркало на пути солнечныхъ лучей, которые можно считать параллельными между собой, то они собираются въ главномъ фокусѣ (собирательное зеркало); благодаря такому сконцентрированію (собиранію) лучей въ этой точкѣ плавятся даже очень тугоплавкіе металлы. (Это свойство вогнутаго зеркала было извѣстно уже въ древности).



Фиг. 273.

Задачи. 1. Постройте изображенія для различныхъ выше разсмотрѣнныхъ случаевъ! 2. Постройте изображеніе предмета, лежащаго параллельно къ оси (наклонно къ ней)! 3. Повторите построеніе, сдѣланное на фиг. 273! Этотъ рисунокъ объясняетъ намъ, какимъ образомъ мы можемъ видѣть мнимое изображеніе, получаемое въ вогнутомъ зеркалѣ. Разъясните это!

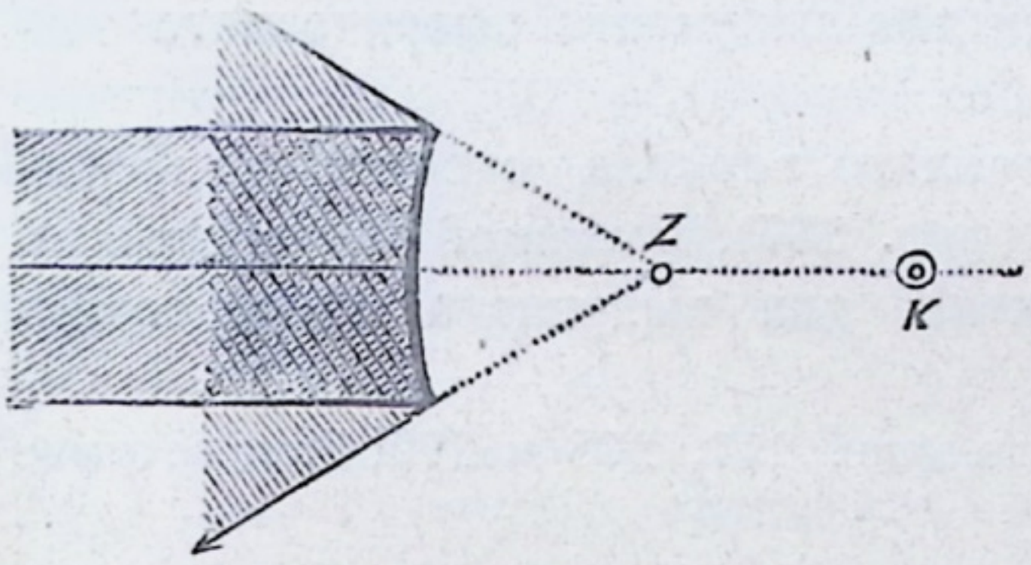
168. **Выпуклое сферическое зеркало.** *a*) Направимъ на выпуклое сферическое зеркало съ малымъ отверстіемъ*) цилиндрическій пучекъ солнечныхъ лучей, параллельныхъ главной оптической оси (фиг. 274). Послѣ отраженія такіе лучи становятся расходящимися и даютъ на экранѣ (стѣнѣ комнаты) круглое пятно, діаметръ котораго возрастаетъ по мѣрѣ удаленія зеркала отъ стѣны. Слѣдовательно, выпуклое зеркало разсѣиваетъ лучи, тогда какъ вогнутое въ этомъ случаѣ собирало бы ихъ; поэтому первое мы можемъ назвать разсѣивательнымъ зеркаломъ. Отражающіеся отъ зеркала лучи, если бы ихъ продолжить за зеркало, пересѣклись бы тамъ въ одной точкѣ Z, лежащей какъ разъ по серединѣ между центромъ

*) Дальше мы всегда будемъ для сокращенія говорить только «выпуклое зеркало», подобно тому, какъ употребляли аналогичное сокращеніе для вогнутаго зеркала (см. примѣч. на стр. 245).

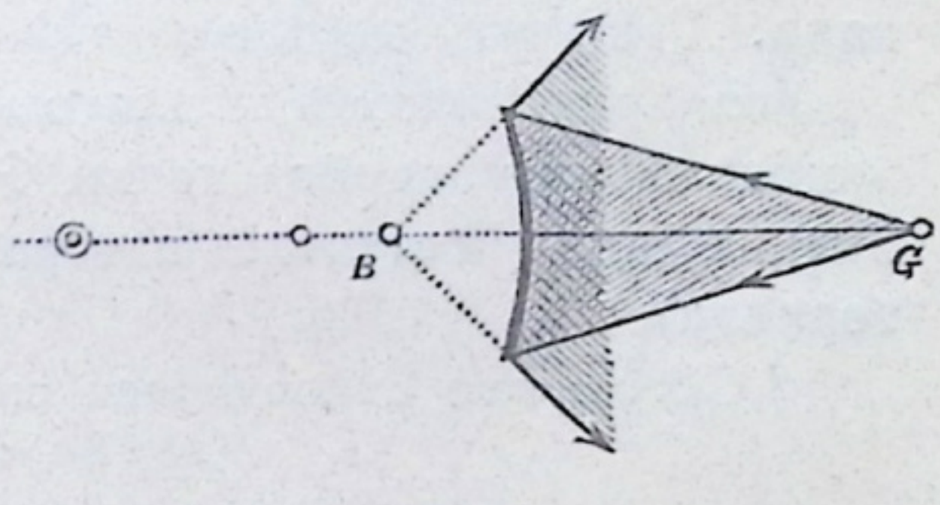
кривизны и серединой зеркала и называющейся главнымъ мнимымъ фокусомъ; ее можно было бы назвать также центромъ разсѣянія. Разстояніе этой точки отъ зеркала называется главнымъ фокуснымъ разстояніемъ; оно равно половинѣ радіуса кривизны. Итакъ, для разсѣивательнаго (выпуклаго) зеркала мы получаемъ слѣдующій законъ: *а*) свѣтовые лучи, падающіе параллельно оси, становятся по отраженіи расходящимися, при чемъ ихъ воображаемыя продолженія за зеркало пересѣкаются тамъ въ главномъ мнимомъ фокусѣ (центрѣ разсѣянія).

Попробуйте объяснить это явленіе подобно тому, какъ это было сдѣлано для вогнутаго зеркала съ помощью фиг. 260.

б) Если гдѣ-либо на главной оптической оси выпуклаго зеркала находится свѣтящаяся точка *G* (фиг. 275), то исходящіе



Фиг. 274.

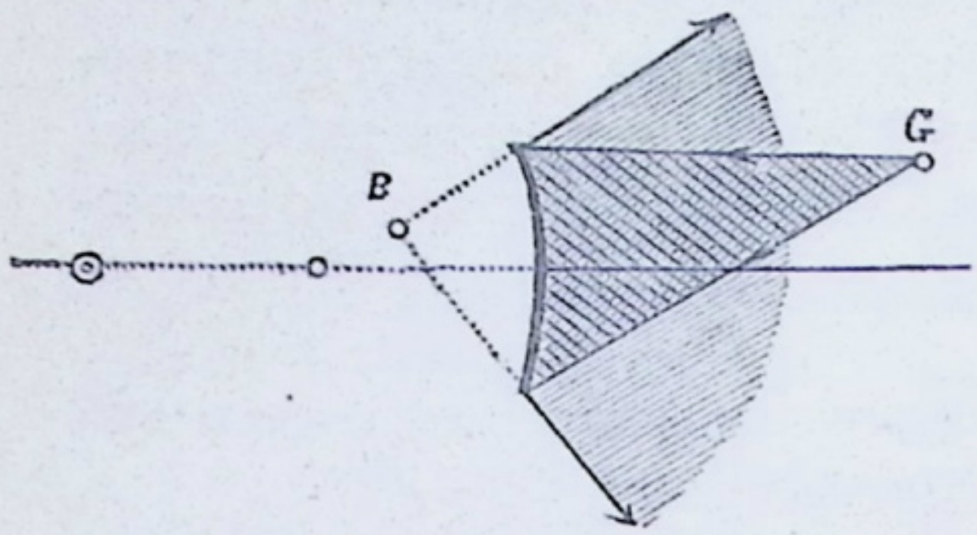


Фиг. 275.

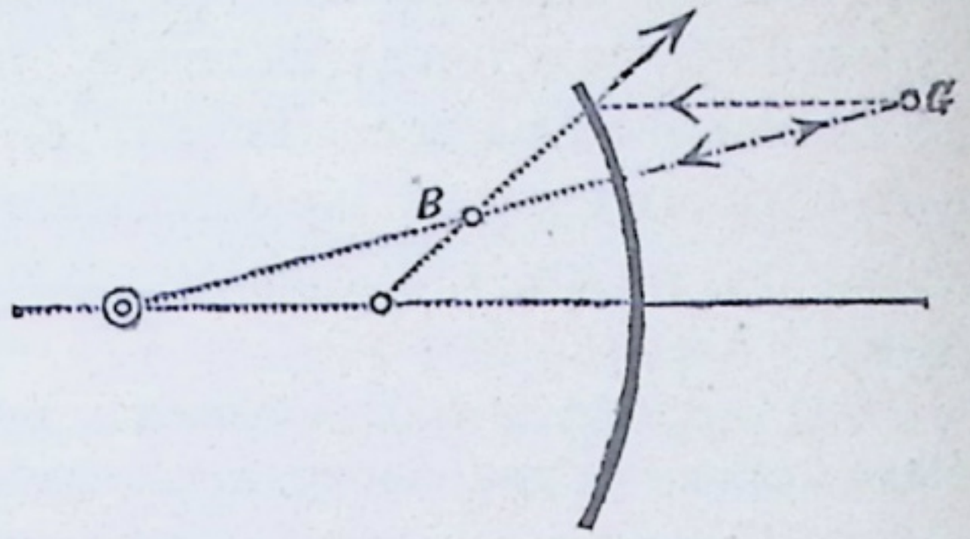
отъ послѣдней лучи, попадая на зеркало, послѣ отраженія всегда становятся расходящимися; ихъ воображаемыя продолженія за зеркало пересѣкаются въ одной точкѣ *B* въ предѣлахъ главнаго фокуснаго разстоянія. Поэтому, если пучекъ этихъ лучей попадаетъ въ нашъ глазъ, то намъ кажется, что въ *B* находится свѣтящаяся точка; тамъ мы видимъ мнимое изображеніе свѣтящейся точки.

Изъ всего этого мы выводимъ для выпуклаго зеркала слѣдующій законъ: *в*) свѣтовые лучи, исходящіе отъ точки на главной оси зеркала, послѣ отраженія становятся расходящимися, при чемъ ихъ воображаемыя продолженія за зеркало пересѣкаются тамъ въ одной точкѣ въ предѣлахъ главнаго фокуснаго разстоянія. При выпукломъ зеркалѣ точно также ничего не измѣнится, если вслѣдствіе незначительнаго отклоненія зеркала предметъ оказывается нѣсколько отодвинутымъ отъ главной

оптической оси (фиг. 276); тогда и мнимое изображеніе B точно также нѣсколько отодвигается отъ этой оси. Поэтому, для выпуклаго зеркала мы получаемъ слѣдующій законъ: лучи, исходящіе отъ свѣтящейся точки (предмета), лежащей на оси или вблизи нея, послѣ отраженія кажутся пересѣкающимися въ одной точкѣ (изображеніи).



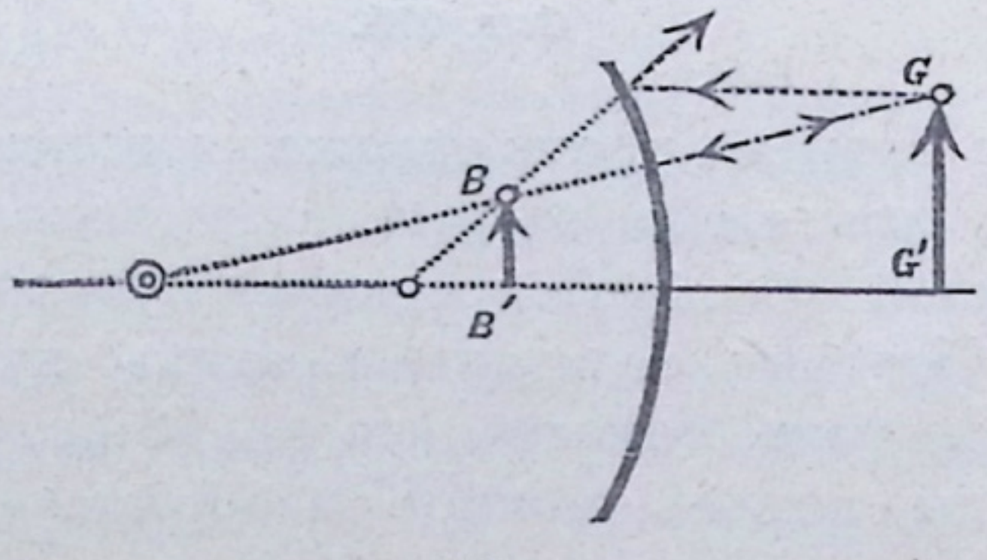
Фиг. 276.



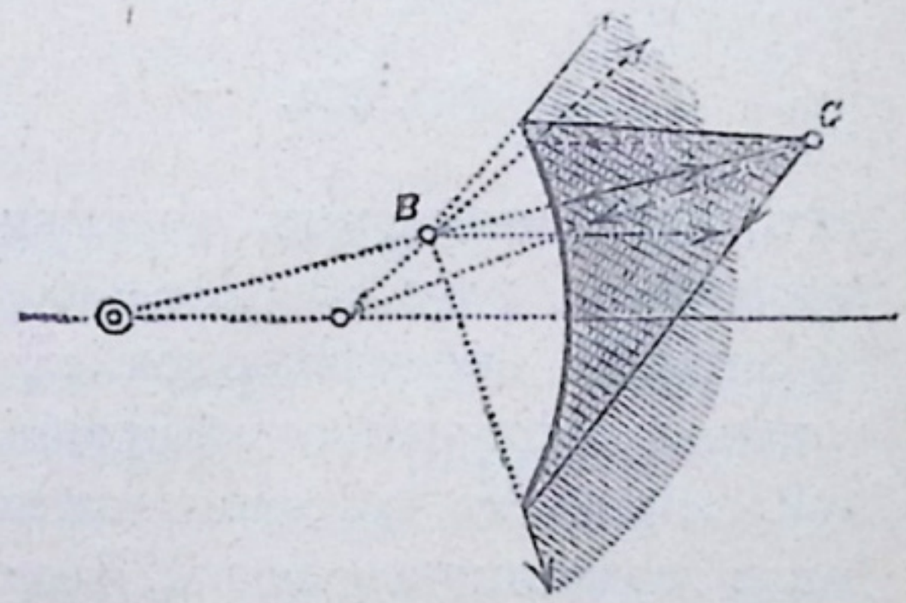
Фиг. 277.

169. **Построеніе изображеній для выпуклаго сферическаго зеркала.** Такъ же, какъ это сдѣлано было въ § 166 для вогнутаго зеркала, мы можемъ и для выпуклаго зеркала строить „изображеніе“ B свѣтящейся точки G (фиг. 277), лежащей не на оси, но вблизи нея. (**Построеніе изображенія для выпуклаго сферическаго зеркала**).

Объясните относящіяся сюда фиг. 277, 278 и 279! Разсмотрите



Фиг. 278.



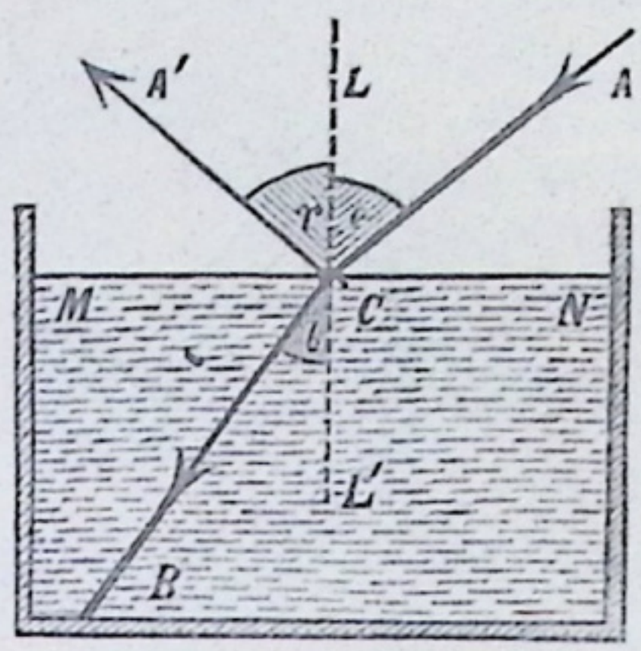
Фиг. 279.

мнимое изображеніе, получаемое въ выпукломъ зеркалѣ отъ протяженнаго свѣтящагося предмета (раскаленной нити лампочки накаливанія, пламени свѣчи и пр.). Какого рода получается изображеніе? Сравните его величину съ величиной предмета! Справедливо ли также здѣсь, что предметъ и его изображеніе перемѣщаются въ противоположныхъ направленіяхъ?

Выпуклыя зеркала часто примѣняются въ видѣ стеклянныхъ шаровъ для украшенія садовъ.—Какое изображеніе даетъ плоское зеркало —мнимое или дѣйствительное? Почему? Каковы всегда бываютъ величина и положеніе изображеній въ плоскомъ зеркалѣ? Какое изображеніе даетъ камера обскура?

Задачи. 1—3. Рѣшите задачи, помѣщенныя на стр. 252, сдѣлавъ въ нихъ соотвѣтственныя измѣненія для выпуклаго зеркала. Обратите особенное вниманіе на построеніе чертежа, соотвѣтствующаго фиг. 273.

170. **Преломленіе свѣта.** *а*) Черезъ узкое отверстіе пропускаютъ въ темную комнату косые солнечные лучи, напр., въ направленіи *AC* (фиг. 280) и на пути ихъ помѣщаютъ горизонтальную поверхность *MN* воды. Небольшая часть лучей по извѣстному намъ закону отражается въ направленіи *CA'* такъ, что уголъ паденія *e* равенъ углу отраженія *r*. Большая же часть пучка лучей *AC* проникаетъ въ жидкость. При этомъ мы замѣчаемъ, что эта часть, уже начиная отъ *C*, отступаетъ отъ своего первоначальнаго направленія и идетъ по прямой *CB*. Такимъ образомъ, свѣтовые лучи, падающіе наклонно изъ воздуха въ воду, т. е. изъ одной среды въ другую, отклоняются на поверхности, раздѣляющей одну среду отъ другой, отъ своего первоначальнаго направленія, или, какъ говорятъ, преломляются. Это явленіе называется **преломленіемъ свѣта**.



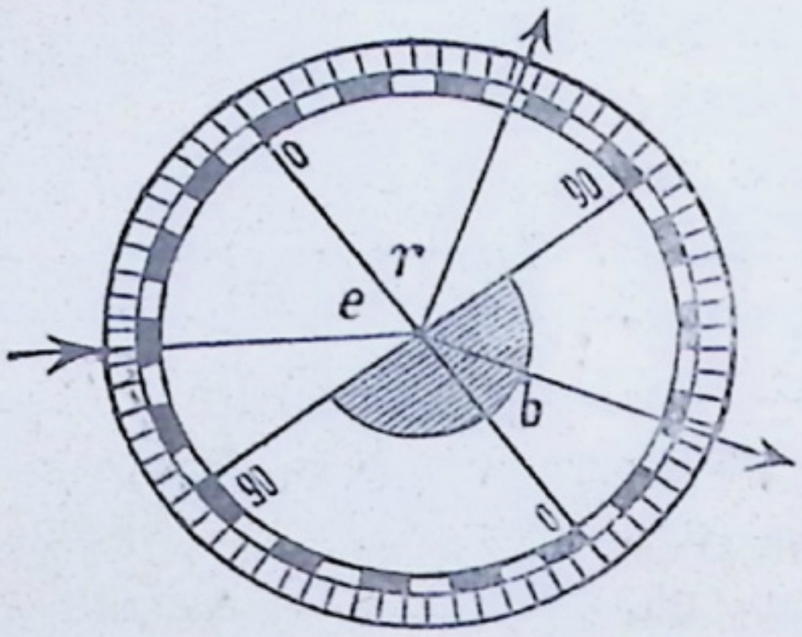
Фиг. 280.

Если же мы направимъ солнечные лучи перпендикулярно къ поверхности воды *MN*, то такого отклоненія вовсе не происходитъ. Такимъ образомъ, свѣтовые лучи, падающіе перпендикулярно на поверхность, отдѣляющую одну среду отъ другой, не отклоняются отъ своего первоначальнаго направленія, т. е. въ этомъ случаѣ преломленія лучей не происходитъ.

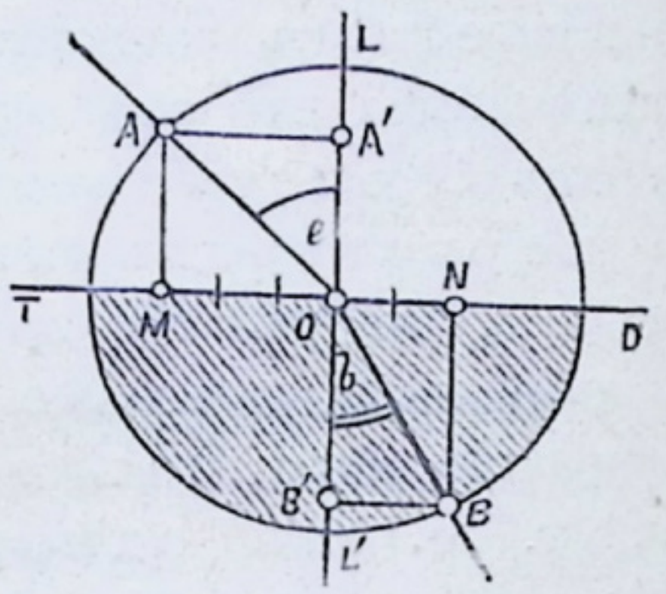
При явленіи преломленія свѣта, мы различаемъ падающій лучъ (*AC*) и преломленный лучъ (*CB*). Оба они образуютъ съ перпендикуляромъ въ точкѣ паденія *LL'* опредѣленные углы. Уголъ *ACL* называется угломъ паденія (*e*), а уголъ *BCL'* — угломъ преломленія (*b*); этотъ уголъ не надо смѣшивать съ угломъ отраженія *A'CL*, означеннымъ на фиг. 280 буквой *r*.

б) При преломленіи существуетъ также опредѣленное соотношеніе между величиной угла паденія и величиной угла преломленія; но здѣсь это соотношеніе сложнѣе, чѣмъ между угломъ паденія и угломъ отраженія. Для опредѣленія указаннаго соотношенія прикрѣпимъ къ оптической шайбѣ (§ 162, фиг. 253) невысокій сте-

клянный полуцилиндръ, какъ указано на фиг. 281. Направленный параллельно плоскости круга пучекъ лучей, падающій въ центръ круга и цилиндра, отчасти отразится по извѣстнымъ уже законамъ; большая же часть лучей претерпитъ преломленіе въ стеклѣ цилиндра при переходѣ изъ воздуха въ стекло; однако, въ дальнѣйшемъ своемъ ходѣ лучи такъ будутъ падать на боковую поверхность цилиндра, что при обратномъ выходѣ изъ стекла въ воздухъ уже не можетъ произойти новаго преломленія. (Почему)? Будемъ теперь, вращая шайбу, давать различную величину углу паденія e и измѣрять каждый разъ (фиг. 282) длину обоихъ перпендикуляровъ AA' и BB',



Фиг. 281.



Фиг. 282.

которые мы можемъ опускать изъ точекъ входа A луча въ предѣлы шайбы и его выхода B изъ предѣловъ послѣдней, на перпендикуляръ OL въ точкѣ паденія и его продолженіе. При этомъ во всѣхъ случаяхъ мы найдемъ, что отношеніе $AA' : BB'$ съ большой точностью равно отношенію 3 : 2. Замѣтимъ, что перпендикуляры AA' и BB' имѣютъ каждый соотвѣтственно такую же длину, какъ отрѣзки OM и ON радіусовъ отъ центра круга O до основанія перпендикуляровъ, опущенныхъ изъ A и B на поверхность раздѣла обѣихъ средъ, т. е. какъ проекціи *) равныхъ радіусовъ круга AO и BO на плоскость, раздѣляющую воздухъ и стекло. Поэтому мы получаемъ слѣдующій **законъ преломленія.**

Проекціи имѣющихъ одинаковую длину отрѣзковъ падающаго и преломленнаго лучеи на

---

*) Если мы изъ какой-либо точки одной изъ двухъ пересѣкающихся прямыхъ опустимъ перпендикуляръ на другую изъ нихъ, то отрѣзокъ послѣдней отъ точки пересѣченія этихъ прямыхъ до основанія перпендикуляра представитъ собой, какъ говорятъ въ геометріи, проекцію отрѣзка первой прямой отъ точки пересѣченія обѣихъ прямыхъ до точки, изъ которой опущенъ перпендикуляръ. Такимъ образомъ, чтобы найти проекцію прямой OA (фиг. 282) на прямой OT, надо изъ точки A опустить перпендикуляръ на прямую OT; отрѣзокъ OM и будетъ искомой проекціей. Слѣдовательно, OM и ON будутъ проекціями радіусовъ AO и OB на прямыхъ OT и OD, или на пересѣченіи плоскости круга плоскостью раздѣленія обѣихъ средъ.

плоскость, раздѣляющую двѣ пропускающія свѣтъ среды, находятся другъ къ другу въ опредѣленномъ отношеніи, которое для каждой пары такихъ средъ остается постояннымъ при всякихъ величинахъ угла паденія. Отношеніе это называется **показателемъ преломленія**. При переходѣ свѣта изъ воздуха въ обыкновенное стекло это отношеніе (показатель преломленія) = 3 : 2.

в) Если при вышеописанныхъ опытахъ съ оптической шайбой мы послѣ каждаго опыта будемъ, вращая кругъ, ставить его въ такое положеніе, чтобы падающій лучъ шелъ по тому же пути, по которому раньше шелъ преломленный, только въ **обратномъ** направленіи, то прежнее направленіе падающаго луча станетъ направленіемъ преломленнаго. Такъ какъ прежнія измѣренія при этомъ остаются безъ измѣненія, то при „переходѣ изъ стекла въ воздухъ“ мы получаемъ величину показателя преломленія, равную 2 : 3.

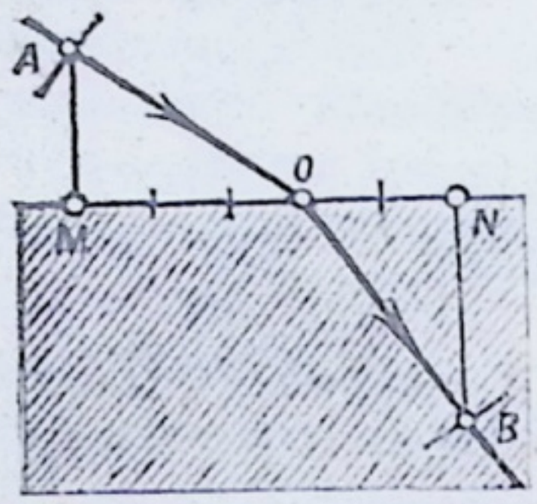
г) Если свѣтъ переходитъ изъ воздуха въ стекло или, какъ говорятъ, изъ оптически менѣе плотной среды въ оптически болѣе плотную, то уголъ преломленія всегда меньше угла паденія; при преломленіи лучъ приближается къ перпендикуляру въ точкѣ паденія. Напротивъ, при переходѣ свѣта изъ стекла въ воздухъ, т. е. изъ среды оптически болѣе плотной въ оптически менѣе плотную, преломленный лучъ удаляется отъ перпендикуляра.

д) На основаніи закона преломленія свѣта мы можемъ съ помощью построенія опредѣлить направленіе преломленнаго луча. Пусть, надъ горизонтальной плоскостью, раздѣляющей двѣ среды (фиг. 283), находится воздухъ, а подъ ней стекло. На эту раздѣляющую двѣ среды плоскость пусть падаетъ лучъ AO; построимъ преломленный лучъ OB. Отъ точки O отложимъ влѣво 3, а вправо 2 равныхъ отрѣзка произвольной длины и въ точкахъ M и N возставимъ перпендикуляры къ плоскости раздѣла, затѣмъ, принявъ полученную при этомъ линію OA за радіусъ, опредѣлимъ точку пересѣченія B окружности, описанной этимъ радіусомъ изъ O, съ перпендикуляромъ, возставленнымъ въ точкѣ N. Соединивъ точку B съ O, получимъ искомый путь, по которому послѣ преломленія пойдетъ лучъ AO. Почему? Объясните также фиг. 284.

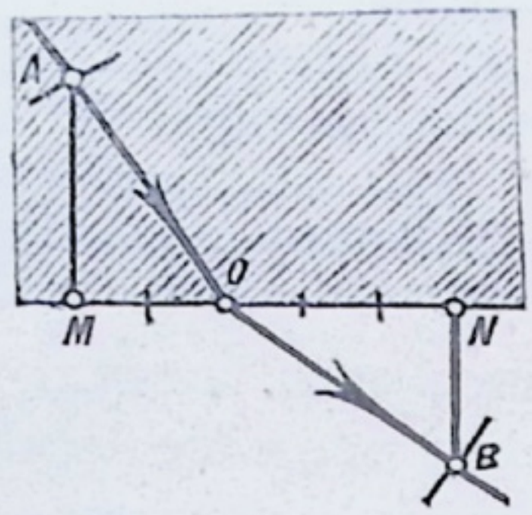
Показатель преломленія можетъ быть правильной или неправильной дробью. Въ какихъ случаяхъ бываетъ онъ правильной дробью и въ какихъ неправильной? Показатель преломленія для воздуха и алмаза 2,5, для воздуха и горнаго хрусталя 1,56, для воздуха и стекла 1,5, для воздуха и воды $^4/_3$. Что это значитъ? Опредѣлите построеніемъ направленіе преломленнаго луча

для различныхъ величинъ угла паденія при показателяхъ преломленія $^3/_2$, $^2/_3$, $^8/_5$, $^5/_8$! Изъ всѣхъ извѣстныхъ тѣлъ наибо́льшей способностью преломленія свѣта обладаетъ алмазъ. Что это значитъ?

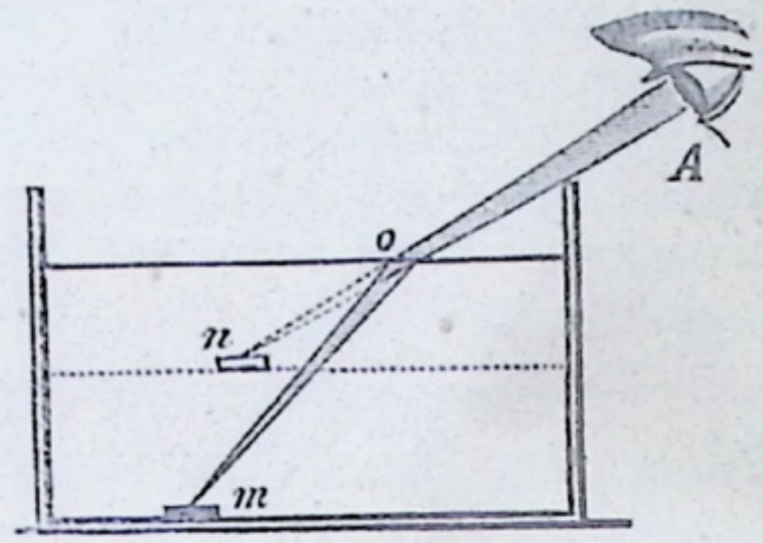
Положимъ на дно сосуда (фиг. 285) съ непрозрачными стѣнками монету *m*. Пока сосудъ пустой, мы при положеніи глаза въ *A* не видимъ монеты. Если же, не измѣняя положенія глаза *A*, налить въ сосудъ воды, то мы сейчасъ же увидимъ монету въ *n*. Дѣло въ томъ, что лучи свѣта, выходя изъ воды, должны претерпѣть отклоненіе отъ своего первоначальнаго направленія. Пучекъ свѣтовыхъ лучей, идущій отъ монеты (на фиг. 285 онъ заштрихованъ) отклонится на поверхности раздѣла, какъ указано на фиг. 285, и мы увидимъ поэтому монету на продолженіи лучей этого пучка, попадающихъ послѣ преломленія въ глазъ, напр., въ точкѣ *n*. Монету мы видимъ въ этомъ случаѣ не на томъ мѣстѣ, гдѣ она находится въ дѣйствительности. Если



Фиг. 283.



Фиг. 284.



Фиг. 285.

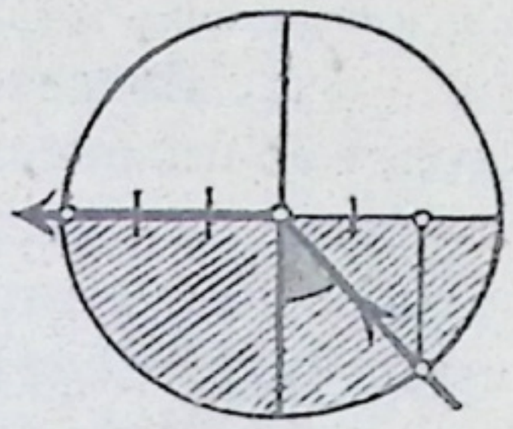
бы глазъ нашъ находился надъ монетой прямо по вертикальному направленію, мы увидѣли бы монету хотя и не сдвинутой въ сторону, но поднятой вверхъ. При помощи такихъ же разсужденій можно объяснить тотъ фактъ, что рѣка, прудъ представляются нашему глазу менѣе глубокими, чѣмъ въ дѣйствительности. Если мы стоимъ въ водѣ, то ноги наши кажутся намъ болѣе короткими. Палка, которую мы наклонно держимъ въ водѣ, кажется намъ переломленной въ томъ мѣстѣ, гдѣ она входитъ въ воду, при чемъ остающаяся часть въ воздухѣ представляется отклоненной вверхъ. Объясните это явленіе!

Хотя растворъ поваренной соли такъ же безцвѣтенъ, какъ вода, однако онъ обладаетъ иной способностью лучепреломленія. Потому, если мы будемъ держать стаканъ съ водой противъ свѣта и внесемъ въ него маленькій кристаллъ поваренной соли, прикрѣпленный съ помощью воска къ стеклянной палочкѣ, то получающійся отъ растворенія кристалла растворъ поваренной соли, имѣющій большій удѣльный вѣсъ и потому опускающійся внизъ, будетъ образовывать своеобразныя ясно видныя ленты или струи. — Отъ той же причины зависятъ наблюдаемыя струи горячаго газа надъ дымовой трубой, надъ пламенемъ, а также дрожаніе воздуха надъ лугомъ, нагрѣтымъ солнцемъ.

171. **Полное внутреннее отраженіе.** Если мы станемъ вращать оптическую шайбу (фиг. 281) такъ, чтобы свѣтъ переходилъ изъ стекла въ воздухъ, то съ возрастаніемъ угла паденія и уголъ преломленія будетъ возрастать и все болѣе и болѣе приближаться къ прямому углу. Мы можемъ опредѣлить, что этого предѣла уголъ преломленія достигнетъ, когда уголъ паденія дойдетъ приблизительно до 42°. Если же мы будемъ увеличивать уголъ паде-

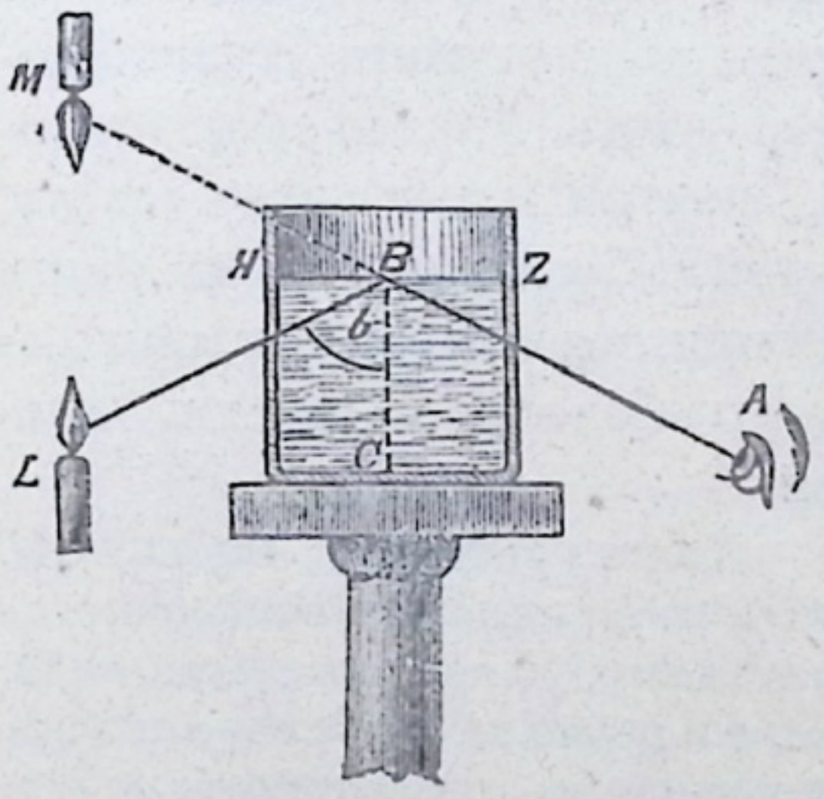
нія и за 42°, то свѣтовые лучи уже не могутъ выйти изъ стекла. Изъ двухъ описанныхъ въ началѣ § 170 явленій — отраженія и преломленія — въ дѣйствительности: можетъ поэтому произойти только первое; но такъ какъ при этомъ отражается весь свѣтъ, то такое отраженіе мы называемъ **полнымъ внутреннимъ отраженіемъ**. Ясно, что полное внутреннее отраженіе можетъ происходить только при переходѣ свѣта изъ оптически болѣе плотной въ оптически менѣе плотную среду, и при томъ лишь въ томъ случаѣ, если уголъ паденія превыситъ уголъ извѣстной величины — предѣльный уголъ.

Для перехода изъ стекла въ воздухъ такой предѣльный уголъ равенъ 42°. Объясните фиг. 286, показывающую, какимъ образомъ можно построеніемъ найти этотъ предѣльный уголъ! Попробуйте построить для такого случая преломленный лучъ при углѣ паденія въ 60°! Что получится?

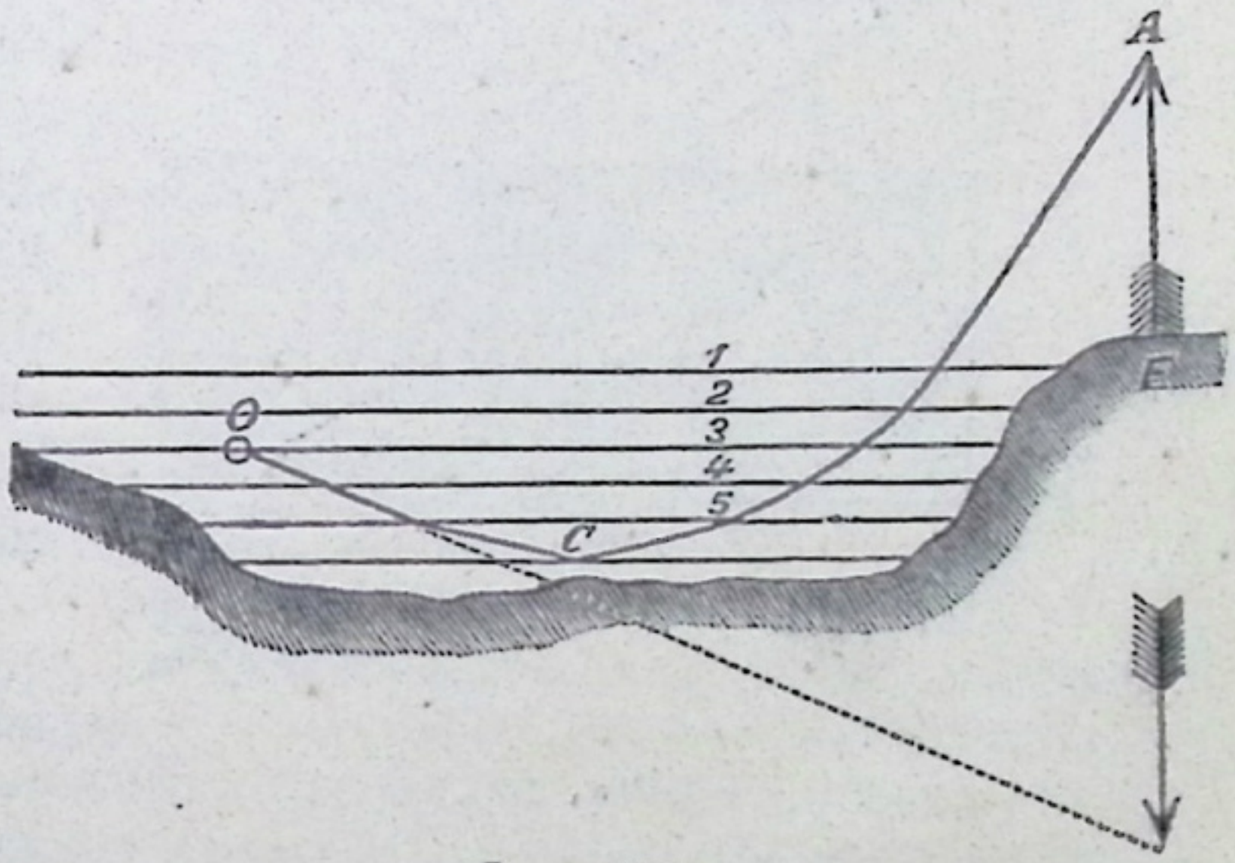


Фиг. 286.

На фиг. 287 представленъ простой опытъ, основанный на полномъ внутреннемъ отраженіи. Объясните этотъ опытъ! Тѣ мѣста поверхности, раздѣляющей двѣ прозрачныхъ среды, въ которыхъ свѣтъ претерпѣваетъ полное внутреннее отраженіе, отличаются сильнымъ блескомъ. Поэтому поднимающіеся въ водѣ пузырьки воздуха блестятъ, какъ жемчугъ. Погрузимъ пробирку наклонно въ воду; погруженная часть, если смотрѣть сверху, кажется намъ какъ бы наполненной ртутью. Такъ же объясняется серебристый блескъ нѣкоторыхъ водяныхъ



Фиг. 287.



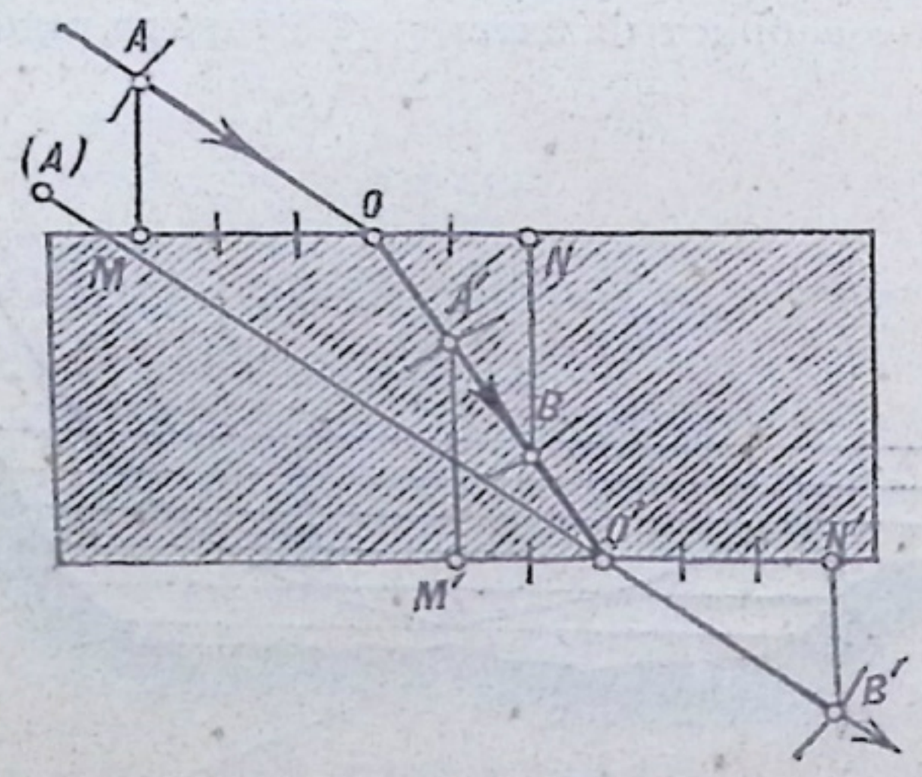
Фиг. 288.

жуковъ (плавунцовъ), опущенныхъ въ воду, ягодъ винограда и пр. Трещины въ стеклѣ блестятъ удивительно сильно. Объясните эти явленія!

Полное внутреннее отраженіе свѣта можетъ наступить и тогда, когда свѣтовой лучъ переходитъ изъ болѣе плотнаго слоя воздуха въ менѣе плотный. Если, напр., лѣтомъ земля, какъ то часто бываетъ, сильно нагрѣлась, и если она кромѣ того покрыта пескомъ (въ пустыняхъ, въ степяхъ), то слои воздуха

лежащіе ближе къ землѣ, какъ наиболѣе нагрѣтые, имѣютъ меньшую плотность. Если при этомъ свѣтовой лучъ идетъ отъ освѣщеннаго предмета A (фиг. 288), находящагося выше упомянутыхъ нижнихъ слоевъ воздуха, то при своемъ прохожденіи внизъ онъ встрѣчаетъ все менѣе плотные слои воздуха (1, 2, 3, 4, 5...); наконецъ его уголъ паденія становится при C настолько великъ, что онъ претерпѣваетъ полное внутреннее отраженіе и достигаетъ глаза, находящагося въ точкѣ O. Поэтому кажется (какъ и при отраженіи отъ поверхности воды), что свѣтъ идетъ вверхъ къ нашему глазу, и наблюдателю представляется, что передъ нимъ озеро, въ которомъ отражаются окрестные предметы. Подобное явленіе происходитъ иногда и на морѣ. Мореплаватели видятъ иногда прямо передъ собой отдаленные корабли, а надъ ними ихъ опрокинутыя изображенія въ воздухѣ. Это явленіе происходитъ тогда, когда плотность воздуха уменьшается по направленію кверху, т. е. когда слои воздуха, лежащіе ближе къ болѣе холодной морской водѣ, плотнѣе верхнихъ слоевъ. Эти явленія носятъ названіе миража (фата-моргана).

172. **Плоскопараллельная пластинка.** Положимъ кусокъ очень толстой пластинки зеркальнаго стекла (прессъ-папье) на листъ бумаги, на которомъ чернилами проведена прямая линія такъ, чтобы концы этой прямой и справа и слѣва выдавались за края пластинки. Если нашъ глазъ находится надъ этой чертой прямо по вертикальному направленію, то покрытый стеклянной пластинкой отрѣзокъ кажется намъ нѣсколько поднятымъ вверхъ. При всякомъ другомъ положеніи глаза этотъ отрѣзокъ кажется также сдвинутымъ въ сторону отъ своего дѣйствительнаго положенія, и при томъ тѣмъ болѣе, чѣмъ толще пластинка, взятая нами для опыта, и чѣмъ больше глазъ нашъ отклонился отъ вертикальнаго положенія надъ прямой.



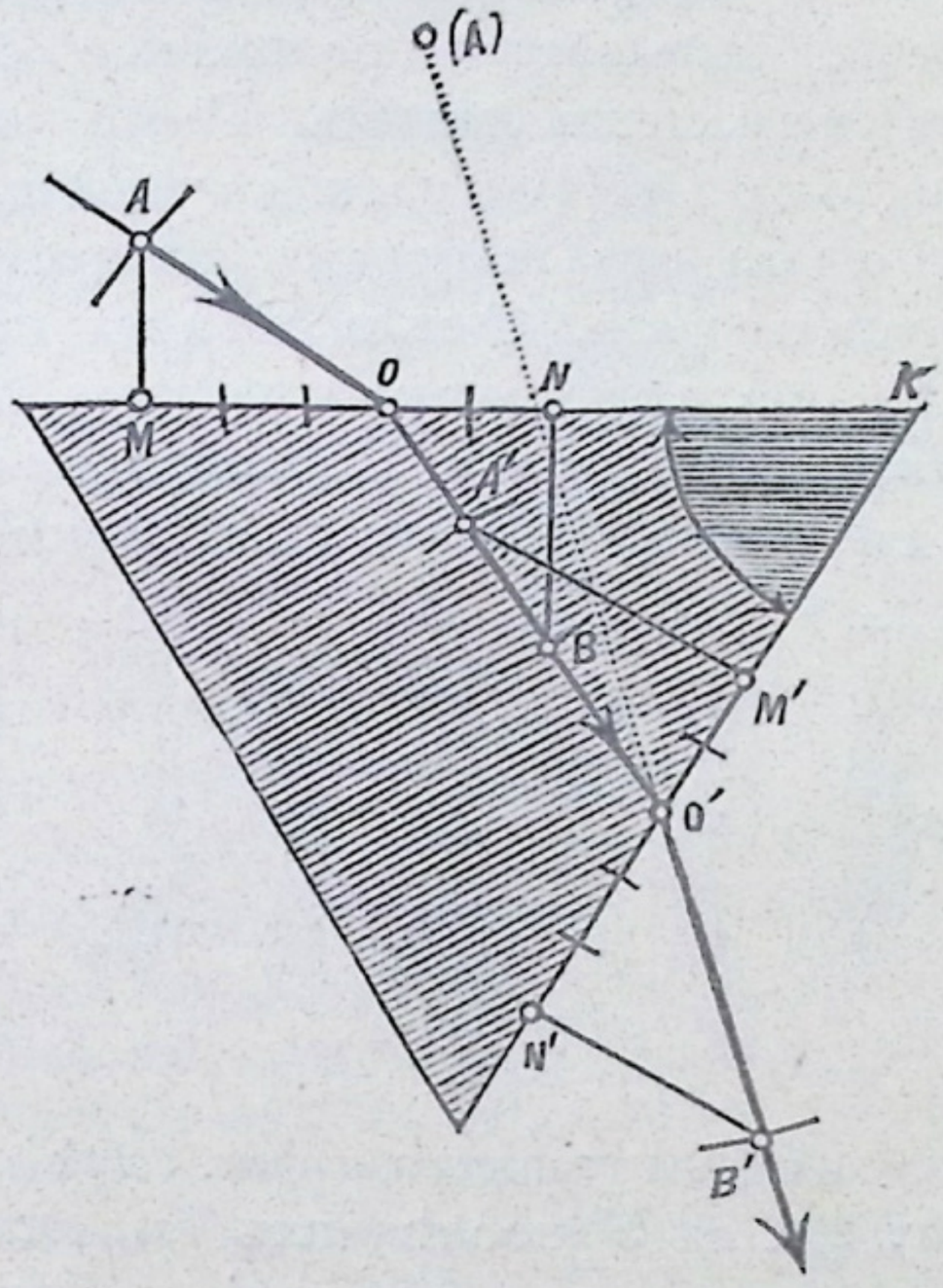
Фиг. 289.

Если свѣтовой лучъ AO (фиг. 289) падаетъ наклонно на пластинку, ограниченную параллельными плоскостями, то при преломленіи онъ приближается къ перпендикуляру въ точкѣ паденія и принимаетъ направленіе OO', опредѣляемое, какъ показано на фиг. 283. Въ O' лучъ отклонится отъ перпендикуляра и выйдетъ изъ пластинки по направленію OB', построенному, какъ показано на фиг. 284. Изъ фиг. 289 наглядно видно, что это направленіе должно быть параллельно AO. Если мы представимъ себѣ въ A свѣтящуюся точку, а въ B' глазъ, то послѣдній увидитъ точку A въ (A) по направленію $O'B'$, т. е. сдвинутой въ сторону.

Послѣ прохожденія черезъ пластинку, ограниченную параллельными плоскостями, или такъ называемую **плоско-параллельную пластинку**, лучъ только нѣсколько сдвигается въ сторону, но не отклоняется отъ своего направленія.

Что происходитъ, когда AO падаетъ перпендикулярно на верхнюю плоскость, ограничивающую пластинку? Отъ чего зависитъ величина бокового смѣщенія точки A. При очень тонкихъ стеклянныхъ пластинкахъ (оконныхъ стеклахъ) боковое смѣщеніе совершенно незамѣтно. Почему?

173. **Призма.** Представимъ себѣ, что нижняя плоскость, ограничивающая параллельную стеклянную пластинку (фиг. 289), начинаетъ наклоняться къ верхней до тѣхъ поръ, пока она не пересѣчетъ послѣдней по ребру K, перпендикулярному къ плоскости рисунка. Получающееся при этомъ прозрачное тѣло, заключенное между двумя наклоненными другъ къ другу плоскостями, ограничивающими его поверхность, называется оптической **призмой**. Объ ограничивающія плоскости носятъ названіе преломляющихъ плоскостей; уголъ ихъ наклоненія называется преломляющимъ угломъ, линія ихъ пересѣченія — преломляющимъ ребромъ призмы.



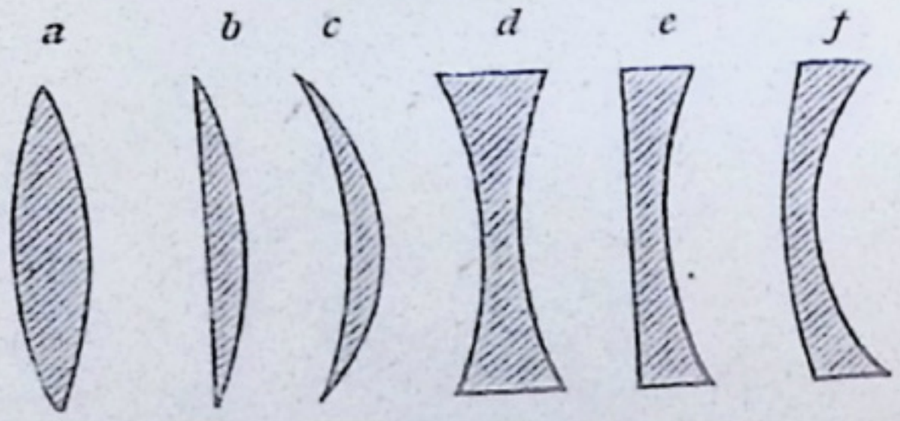
Фиг. 290.

Изъ упомянутаго наклоненія нижней плоскости на фиг. 289 для образованія призмы сейчасъ же можно видѣть, что и въ призмѣ падающій пучекъ лучей (по правилу) при входѣ въ призму приближается къ перпендикуляру въ точкѣ паденія, а при выходѣ, наоборотъ, отклоняется отъ этого перпендикуляра. Однако, какъ показываетъ построеніе на фиг. 290, выходящій изъ призмы лучъ уже не можетъ здѣсь оставаться параллельнымъ падающему лучу; наоборотъ, каждое изъ претерпѣваемыхъ имъ преломленій отклоняетъ его отъ его направленія, и каждое изъ отклоненій удаляетъ лучъ въ одну и ту же сторону отъ преломляющаго ребра. Если глазъ находится въ B', то свѣтящуюся точку A онъ видитъ смѣщенной въ сторону, а именно въ (A) по направленію $B'O'$.

Направленіе луча, вслѣдствіе преломленія въ призмѣ измѣняется и при томъ такъ, что выходящій лучъ отклоняется отъ преломляющаго ребра, а, слѣдовательно, изображеніе источника свѣта перемѣщается по направленію къ преломляющему ребру призмы.

Съ помощью построенія покажите, что отклоненіе призмой тѣмъ больше, чѣмъ больше преломляющій уголъ! Зависитъ ли величина отклоненія отъ матеріала, изъ котораго сдѣлана призма? Посмотрите черезъ призму на пламя бунзеновской горѣлки, окрашенное въ желтый цвѣтъ поваренной солью. Что вы видите?

174. **Сферическія стекла или линзы.** Особенно замѣчательныя явленія вызываетъ преломленіе свѣта въ такъ называемыхъ оптическихъ **линзахъ**. Такое названіе получаютъ прозрачныя тѣла, ограниченныя двумя шаровыми поверхностями; одна изъ шаровыхъ поверхностей можетъ быть замѣнена плоскостью. Осью линзы называютъ линію, соединяющую оба центра кривизны шаровыхъ поверхностей, ограничивающихъ линзу. По положенію послѣднихъ различаютъ два рода линзъ. Выпуклыя линзы (на фиг. 291 *a*, *b*, *c* предста-



Фиг. 291.

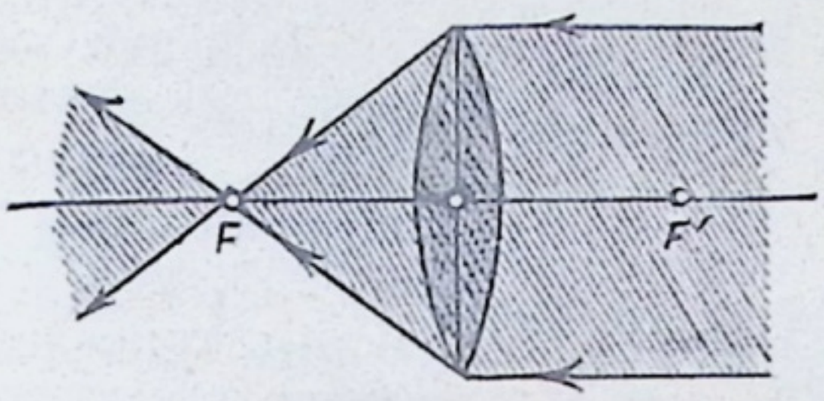
влены ихъ поперечные разрѣзы) въ серединѣ толще, чѣмъ къ краямъ; наоборотъ, вогнутыя линзы (фиг. 291 *d*, *e*, *f*) по краямъ толще, чѣмъ по серединѣ. Изъ выпуклыхъ линзъ различаютъ двояковыпуклыя (фиг. 291 *a*), плосковыпуклыя (фиг. 291 *b*) и вогнутовыпуклыя (фиг. 291 *c*). У послѣднихъ выпуклая поверхность большей кривизны, чѣмъ вогнутая, радіусъ кривизны первой, значитъ, меньше, чѣмъ у второй. Подобно этому и вогнутыя линзы бываютъ двояковогнутыя (фиг. 291 *d*), плосковогнутыя (фиг. 291 *e*) и выпукловогнутыя (фиг. 291 *f*). У послѣднихъ вогнутая поверхность имѣетъ большую кривизну, чѣмъ выпуклая, ея радіусъ кривизны, значитъ, меньше.

175. **Выпуклыя линзы.** *a*) Поставимъ двояковыпуклую линзу *) (фиг. 292) на пути солнечныхъ лучей такъ, чтобы послѣдніе падали на линзу параллельно ея оси. Пройдя черезъ линзу, лучи

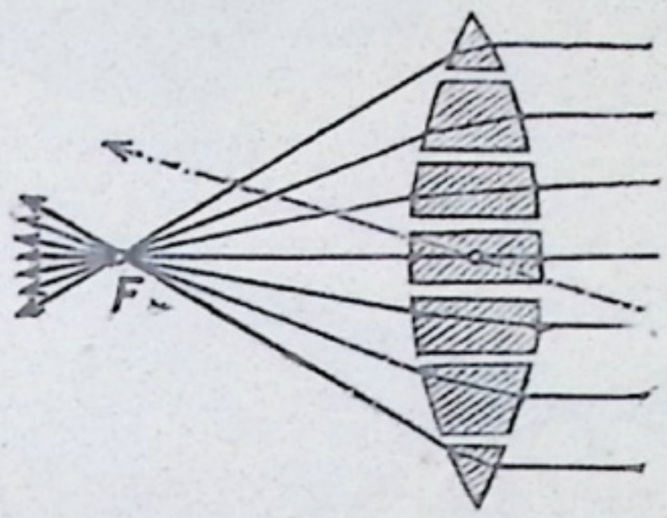
*) Во всѣхъ опытахъ мы имѣемъ дѣло только съ линзами незначительной толщины. Для большей наглядности на фигурахъ толщина линзъ изображается больше, чѣмъ въ дѣйствительности.

соберутся въ одной точкѣ F. Если мы помѣстимъ въ этой точкѣ горючее тѣло (напр. кусокъ трута, спичку), то оно воспламенится. Тотъ же опытъ можно продѣлать и съ плосковыпуклой или съ вогнутовыпуклой линзой. Точку, въ которой собираются лучи, падающіе параллельно оси, мы называемъ главнымъ фокусомъ, а его разстояніе отъ линзы главнымъ фокуснымъ разстояніемъ.

Выпуклыя линзы, какъ собирающія лучи въ одну точку, можно назвать **собирательными линзами** или **зажигательными стеклами**. Понятно, что каждая собирательная линза имѣетъ два фокуса (фиг. 292, F и F'). Оба они лежатъ на оптической



Фиг. 292.



Фиг. 293.

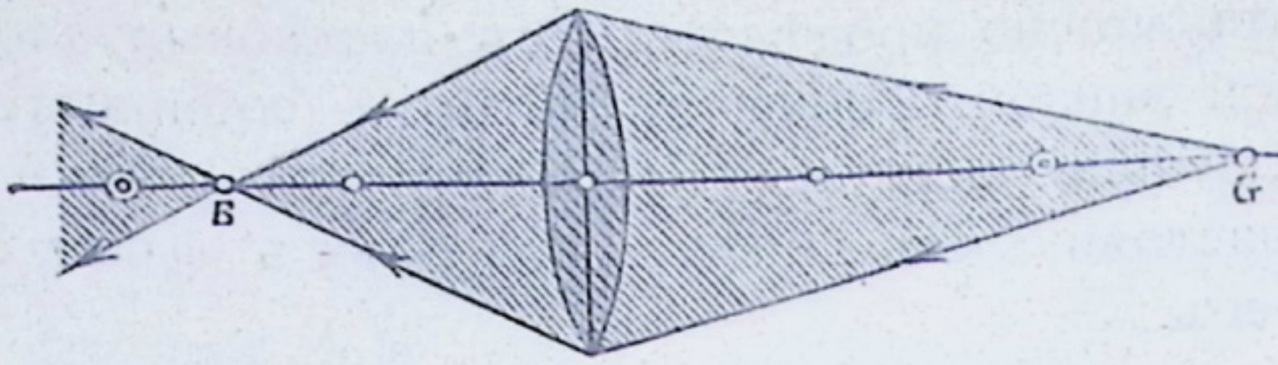
оси линзы. Если обѣ шаровыя поверхности, ограничивающія линзу, имѣютъ равные между собой радіусы, то геометрическій центръ линзы называется также ея оптическимъ центромъ. Лучи, проходящіе черезъ оптическій центръ линзы, называются главными лучами.

Для объясненія этого явленія нужно замѣтить, что линзы отклоняютъ лучи при ихъ входѣ и выходѣ подобно ряду призмъ. Мы можемъ вообразить себѣ линзы какъ бы составленными изъ ряда призмъ (фиг. 293). Лучи, проходящіе черезъ оптическій центръ линзы, проходятъ черезъ линзу, какъ они проходили бы черезъ плоскопараллельную пластинку небольшой толщины, и потому не отклоняются линзой.

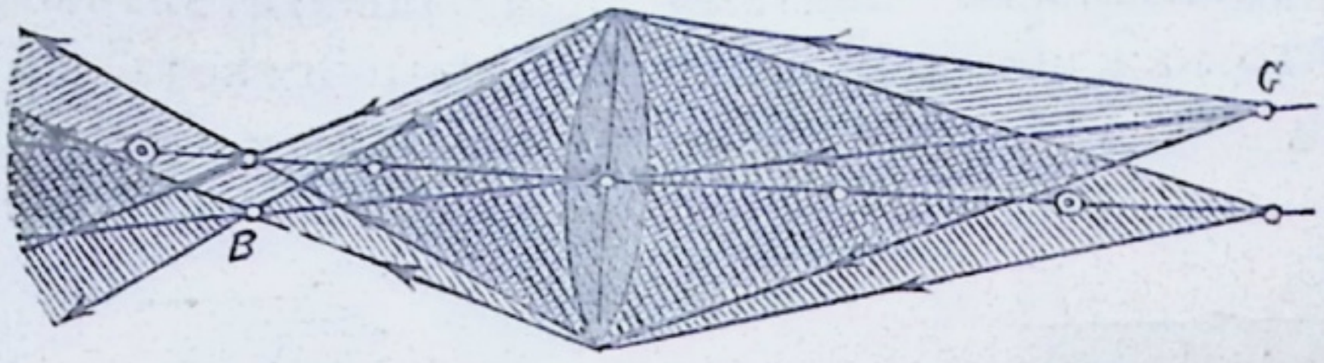
Какъ можно опредѣлить главное фокусное разстояніе собирательной линзы?

б) Сходство только что описаннаго явленія, наблюдаемаго въ собирательныхъ линзахъ, съ явленіемъ, изложеннымъ въ пунктѣ *а*) § 165, наблюдаемымъ въ вогнутыхъ (собирательныхъ) зеркалахъ, позволяетъ распространить и на линзы сказанное тамъ въ пунктѣ *а*). Это сходство идетъ еще гораздо дальше. Если мы послѣдовательно будемъ ставить свѣтящуюся точку на оси собирательной линзы въ положенія, соотвѣтствующія положеніямъ, указаннымъ для вогнутаго зеркала въ пунктахъ *б*), *в*), *г*), *д*) и *е*) § 165, то окажется, что обѣ группы

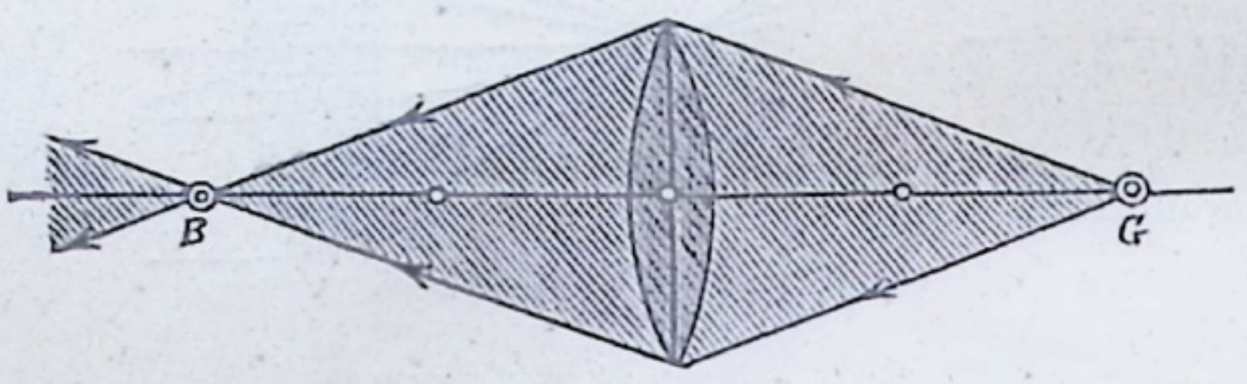
явленій будутъ протекать совершенно аналогично. Слѣдовательно, собирательная линза посредствомъ преломленія свѣта образуетъ всѣ тѣ дѣйствительныя и мнимыя изображенія, которыя вогнутое зеркало даетъ посредствомъ отраженія свѣта.



Фиг. 294.

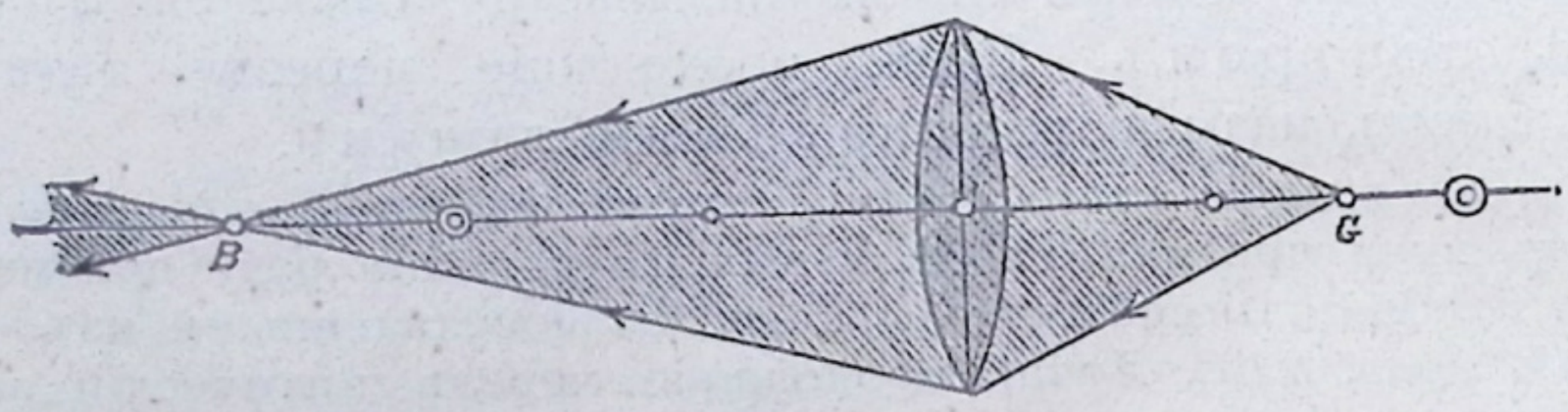


Фиг. 295.

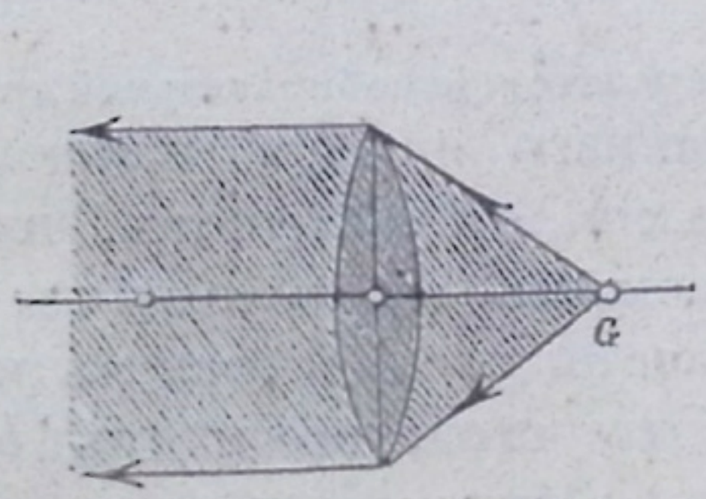


Фиг. 296.

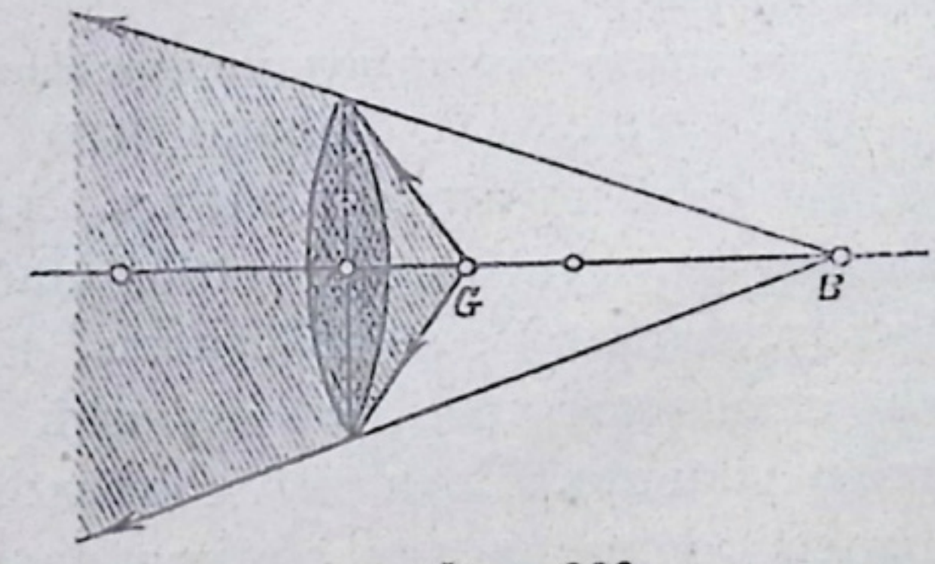
Всѣ эти случаи можно провѣрить на опытѣ, руководясь фигурами 294, 295, 296, 297, 298, 299 *). Законы, приведенные раньше для вогнутаго зеркала, имѣютъ силу въ полной мѣрѣ и для выпуклыхъ линзъ, и потому мы можемъ здѣсь выразить ихъ слѣдующимъ образомъ;



Фиг. 297.



Фиг. 298.



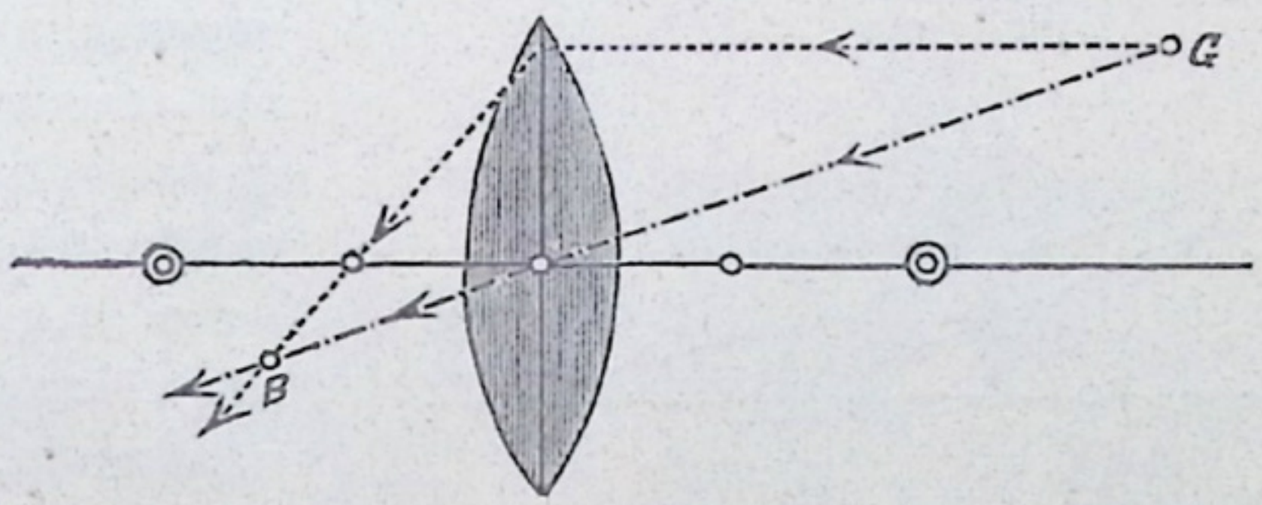
Фиг. 299.

*) На всѣхъ фигурахъ „простое фокусное разстояніе“ изображено въ видѣ простого кружка, „двойное фокусное разстояніе“ въ видѣ двойного кружка.

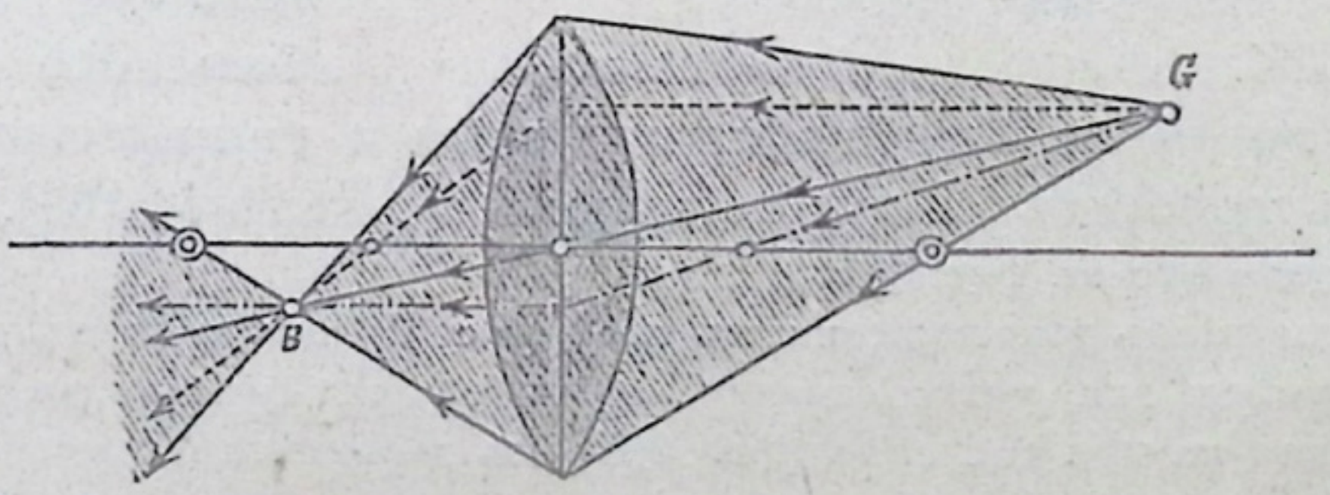
Лучи, исходящіе отъ свѣтящейся точки (предмета), находящейся на оси линзы или вблизи послѣдней, послѣ преломленія въ линзѣ или дѣйствительно собираются въ одной точкѣ (изображеніи), или же кажутся собравшимися въ такой точкѣ.

Нужно только замѣтить, что при вогнутомъ зеркалѣ дѣйствительныя изображенія и предметы лежатъ по одну и ту же сторону зеркала; мнимое же изображеніе и предметъ находятся на противоположныхъ сторонахъ зеркала. При собирательныхъ же линзахъ какъ разъ наоборотъ. Здѣсь дѣйствительныя изображенія и предметъ лежатъ по обѣ стороны линзы, а мнимыя изображенія и предметы по одну и ту же сторону отъ нея. — Дальнѣйшее различіе состоитъ въ томъ, что положеніе главнаго фокуса для вогнутаго зеркала зависитъ только отъ геометрическихъ условій (величины радіуса кривизны), а не отъ матеріала, изъ котораго сдѣлано зеркало, напротивъ, у собирательныхъ линзъ положеніе это зависитъ какъ отъ геометрическихъ условій (величина радіусовъ кривизны), такъ и отъ оптическихъ (показатель преломленія вещества линзы). У линзъ изъ обыкновеннаго стекла (кронгласа) главное фокусное разстояніе можетъ быть принято равнымъ радіусу кривизны *).

176. **Построеніе изображеній въ выпуклыхъ линзахъ.** Способъ построенія изображеній въ вогнутыхъ зеркалахъ, изложенный въ



Фиг. 300.

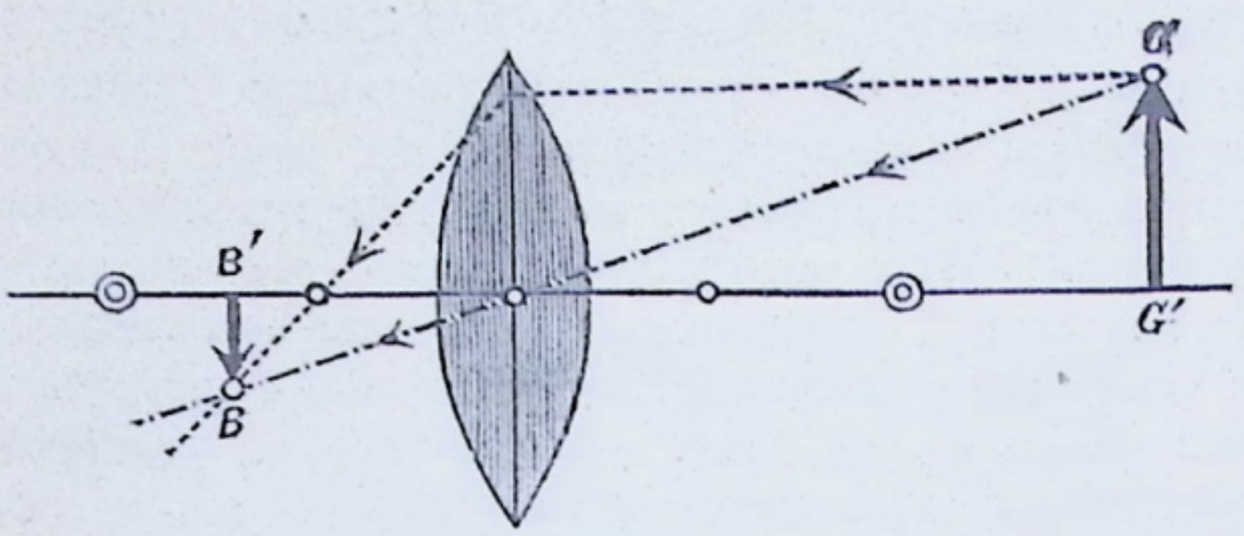


Фиг. 301.

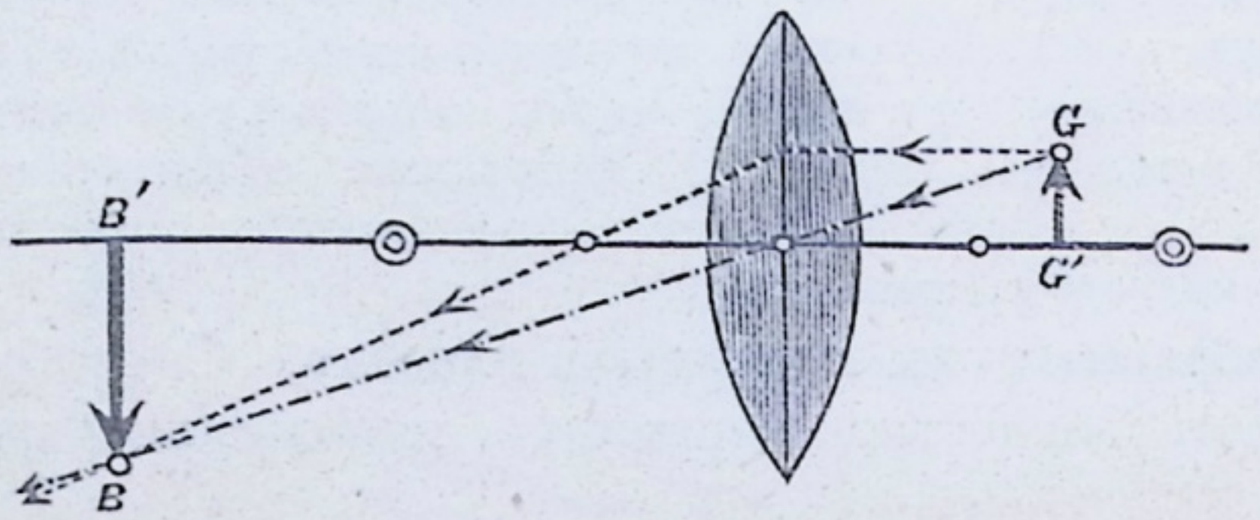
*) Попробуйте показать это посредствомъ чертежа, при чемъ надо взять лучъ, падающій на линзу параллельно оси, и опредѣлить путь преломленнаго луча съ помощью построеній, указываемыхъ на фиг. 283 и 284; для показателя преломленія возьмите величину 3 : 2.

§ 166, точно также цѣликомъ приложимъ къ собирательнымъ линзамъ.

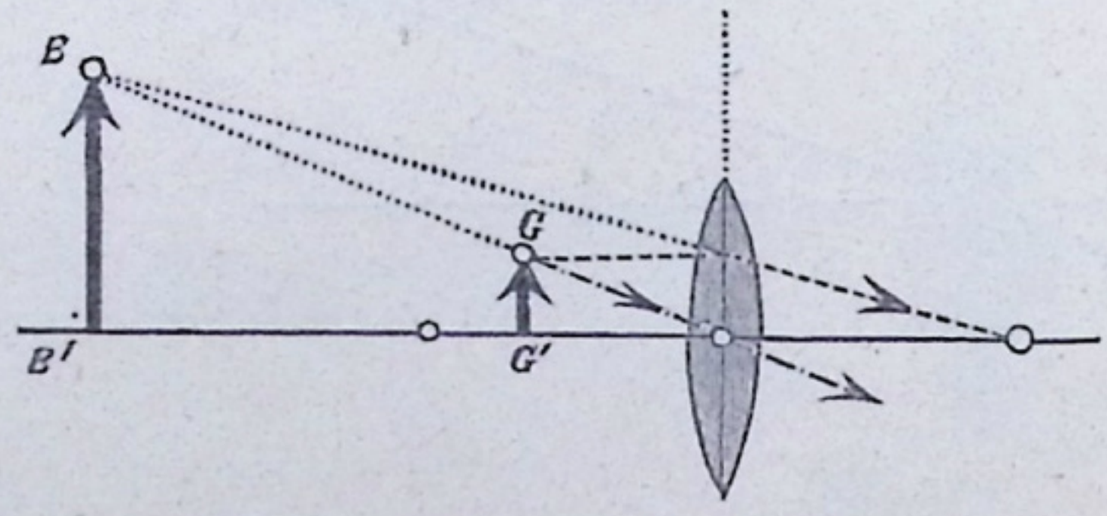
Объясните построенія, сдѣланныя на фиг. 300, 301, 302, 303 и 304!



Фиг. 302.



Фиг. 303.



Фиг. 304.

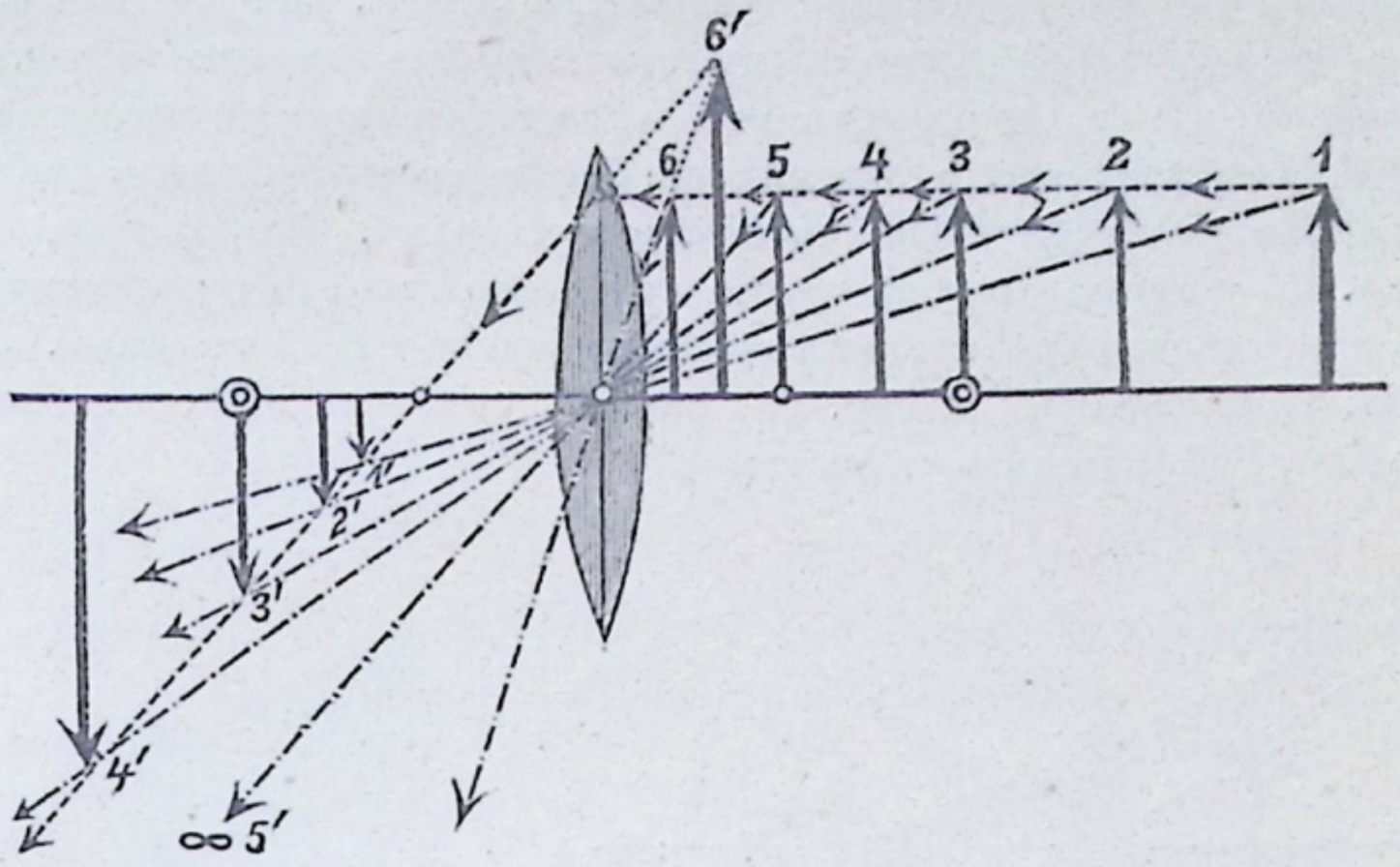
Главные лучи (обозначенные штрихами и точками), такъ какъ они проходятъ черезъ линзу безъ преломленія, проводятся въ видѣ прямыхъ линій черезъ оптическій центръ линзъ. Лучи параллельные оси (обозначенные штрихами), для упрощенія построенія всегда проводятся прямолинейно до средины линзы, а оттуда также прямолинейно къ соотвѣтствующему фокусу или параллельно оси.

177. **Изображенія, получаемыя при помощи линзъ.** Если мы будемъ постепенно приближать свѣтящійся предметъ (раскаленная нить лампочки накаливанія, пламя свѣчи и пр.) къ собирательной линзѣ съ большого разстоянія, то мы получимъ всѣ дѣйствительныя и мнимыя изображенія, о которыхъ говорилось при вогнутомъ зеркалѣ (§ 167).

Прослѣдите это на фиг. 305!

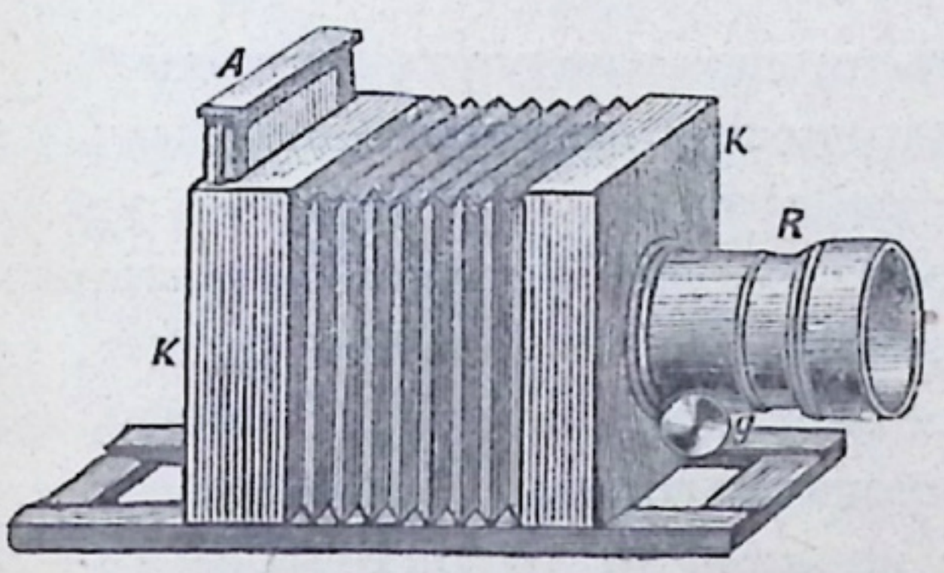
Возникновеніемъ вышеописанныхъ изображеній, получаемыхъ съ помощью линзъ, пользуются для устройства камеры-обскуры, фотографической камеры. Такая камера состоитъ (фиг. 306) изъ деревяннаго, вычерненнаго внутри ящика, къ передней стѣнкѣ котораго придѣлана трубка *R* съ находящейся въ ней собирательной линзой. Возникающее благодаря послѣдней дѣйствительное изображеніе получается на задней выдвижной стѣнкѣ *A* ящика, которая дѣлается изъ матоваго стекла. Для полученія изображенія какъ разъ на этой матовой пластинкѣ линзу приходится приближать къ послѣдней или уда-

лять отъ нея, для чего трубка дѣлается раздвижной и перемѣщенія линзъ производятся посредствомъ винта g, а кромѣ того боковыя стѣнки камеры устраиваются, какъ видно на фиг. 306, изъ кожи, сложенной въ видѣ гармоніи. Какъ можетъ при этомъ измѣняться величина дѣйствительнаго изображенія?

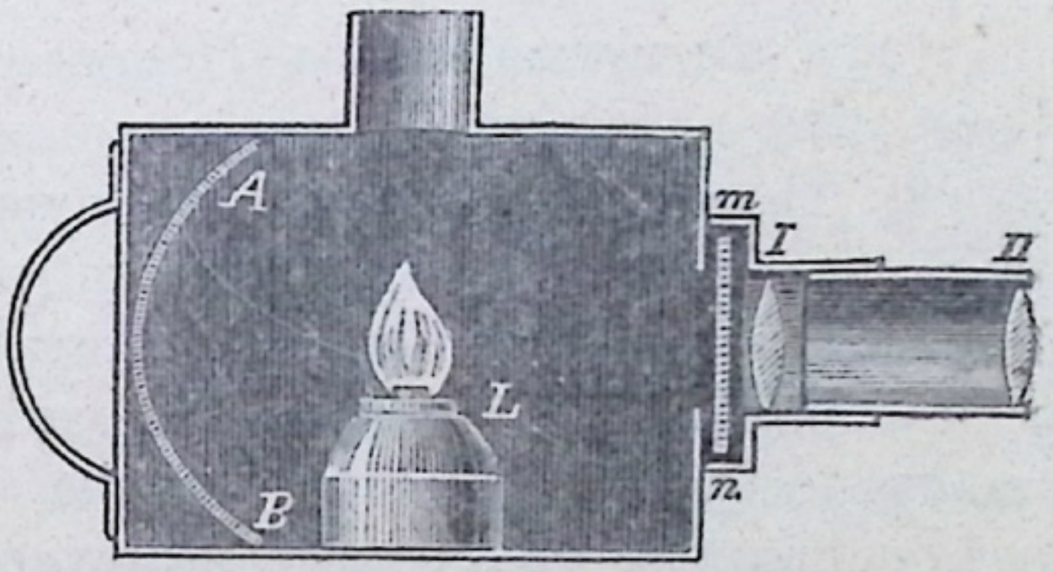


Фиг. 305.

Волшебный фонарь также даетъ при помощи линзы дѣйствительныя изображенія. Лучи свѣта, идущіе отъ масляной лампы L (фиг. 307), съ помощью вогнутаго зеркала AB (или же съ помощью особыхъ, служащихъ для освѣщенія предмета линзъ, помѣщаемыхъ въ такомъ случаѣ между лампой и



Фиг. 306.

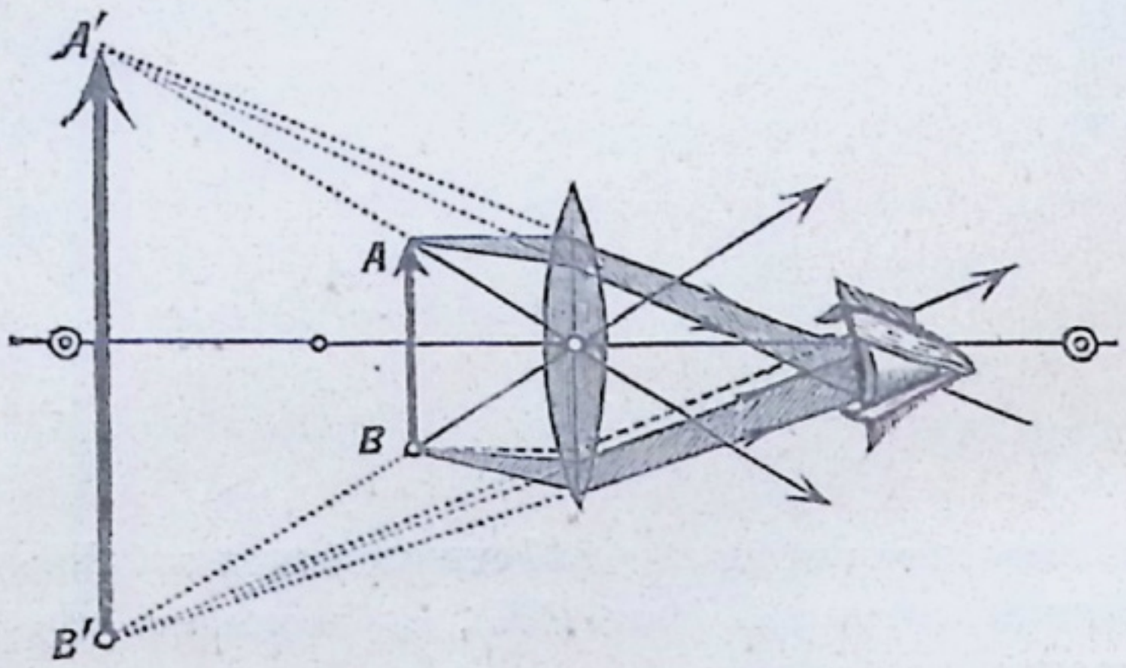


Фиг. 307.

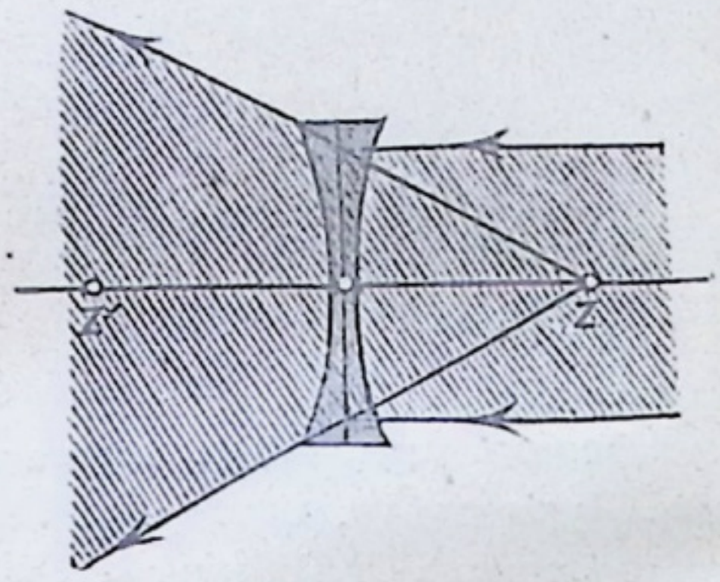
предметомъ mn) концентрируются на прозрачномъ, сдѣланномъ на стеклянной пластинкѣ рисункѣ mn (предметѣ). Линза II даетъ на экранѣ, стоящій противъ фонаря, уеличенное обратное изображеніе ярко освѣщеннаго такимъ образомъ предмета. Болѣе совершенной конструкціи волшебный фонарь, употребляемый преимущественно для научныхъ и учебныхъ цѣлей, носитъ названіе скіоптикона (отъ греческихъ словъ, значащихъ «тѣнь» и «вижу»). Въ послѣднемъ въ качествѣ источника свѣта примѣняются усовершенствованныя керосино- или газокалильныя лампы, затѣмъ друммондовъ свѣтъ, испускаемый известью при накаливаніи ея въ пламени гремучаго газа, электрическій и солнечный свѣтъ. Чѣмъ дальше отъ линзы II находится экранъ, тѣмъ изображеніе будетъ больше, но зато тѣмъ слабѣе освѣщено. (Почему?).

Если мы будемъ разсматривать маленькій предметъ (напр. маленькое насѣкомое, части цвѣтка и пр.) черезъ линзу съ короткимъ фокуснымъ разстояніемъ, помѣстивъ этотъ предметъ ближе послѣдняго и при томъ вблизи главнаго фокуса, то мы увидимъ предметъ увеличеннымъ тѣмъ больше, чѣмъ короче при равенствѣ прочихъ условій фокусное разстояніе линзы. Поэтому собирательныя линзы съ короткимъ фокуснымъ разстояніемъ называютъ также лупами, увеличительными стеклами или простыми микроскопами. Объясните фиг. 308, изображающую примѣненіе собирательной линзы въ качествѣ лупы. Лупы часто употребляются часовыми мастерами, ботаниками, химиками, врачами и др. Съ помощью лупы можно отчетливо видѣть нити тонкой ткани (примѣняется на ткацкихъ фабрикахъ для счета числа нитей въ ткани, «глазокъ»).

Задачи. Приведенныя на стр. 252 задачи сдѣлайте съ соотвѣтственнымъ измѣненіемъ для собирательныхъ линзъ.



Фиг. 308.



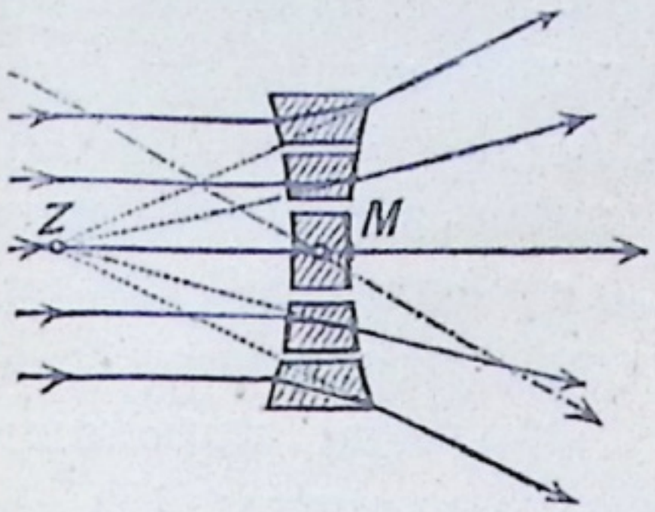
Фиг. 309.

178. **Вогнутыя линзы.** Направимъ на двояковогнутую линзу *) (фиг. 309) параллельно оси ея цилиндрическій пучекъ солнечныхъ лучей. Послѣ преломленія эти лучи выйдутъ изъ линзы уже въ видѣ расходящагося пучка, такъ что на экранѣ (стѣнѣ комнаты) они дадутъ круглое свѣтлое пятно, діаметръ котораго будетъ тѣмъ больше, чѣмъ дальше находится линза отъ экрана. Значитъ, двояковогнутая линза (а также плосковогнутая) разсѣиваетъ свѣтъ подобно тому, какъ выпуклое зеркало (§ 168). Поэтому такія линзы называются **разсѣивательными линзами.** Выходящіе изъ разсѣивательной линзы расходящіеся лучи здѣсь также кажутся идущими изъ одной точки Z главнаго мнимаго фокуса, лежащаго позади линзы; разстояніе этой точки отъ линзы называется главнымъ фокуснымъ разстояніемъ.

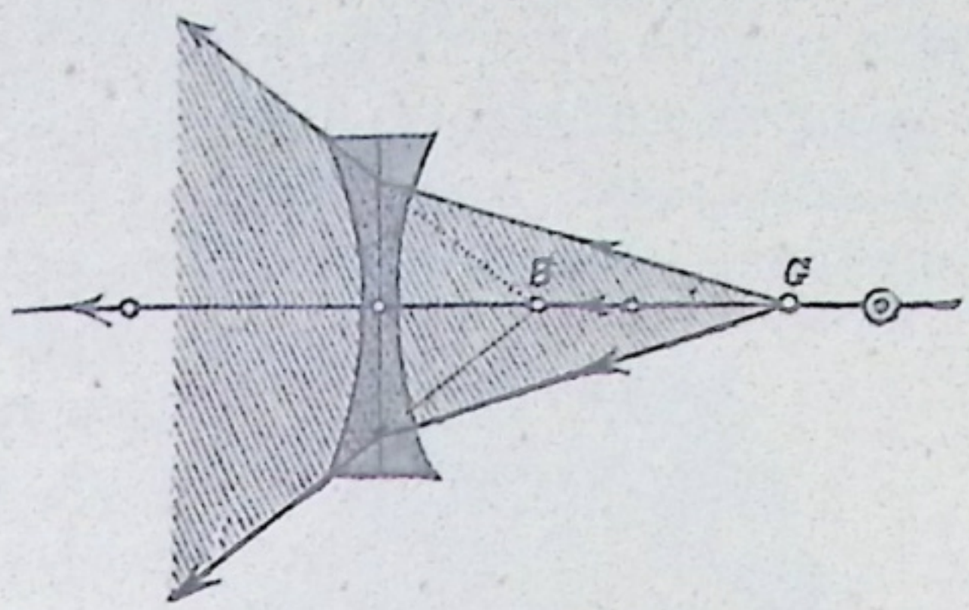
Разсѣивательныя линзы можно также разсматривать, какъ рядъ призмъ (фиг. 310). Объясните этотъ рисунокъ! Что мы разумѣемъ подъ оптическимъ центромъ разсѣивательной линзы? Что такое главные лучи? Почему послѣдніе проходятъ черезъ разсѣивательную линзу безъ отклоненія?

*) Линза эта имѣетъ незначительную толщину. Ср. примѣчаніе на стр. 262.

Какъ при собирательныхъ линзахъ мы имѣли дѣло съ явленіями, вполнѣ сходными съ подробно объясненными нами при со-

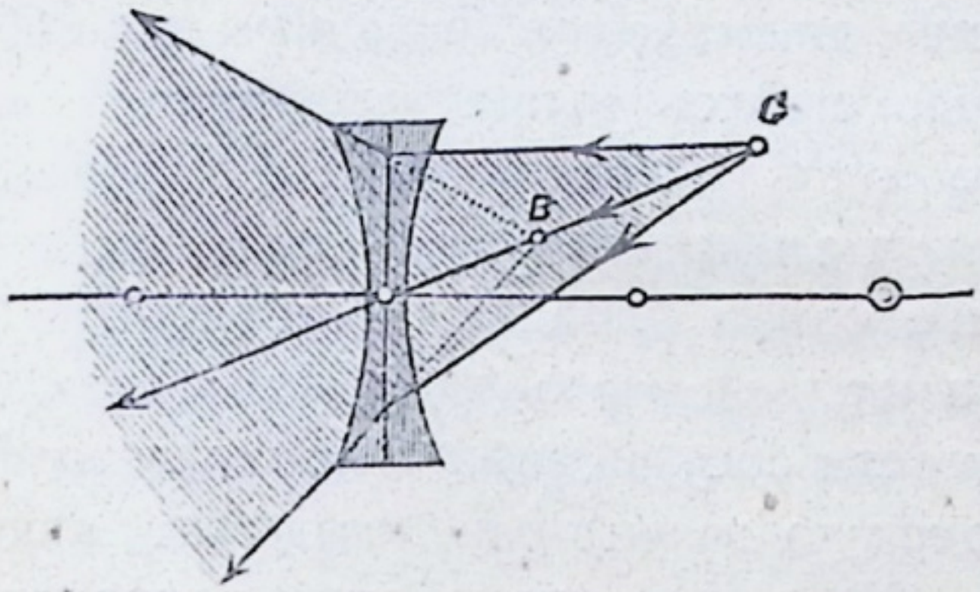


Фиг. 310.

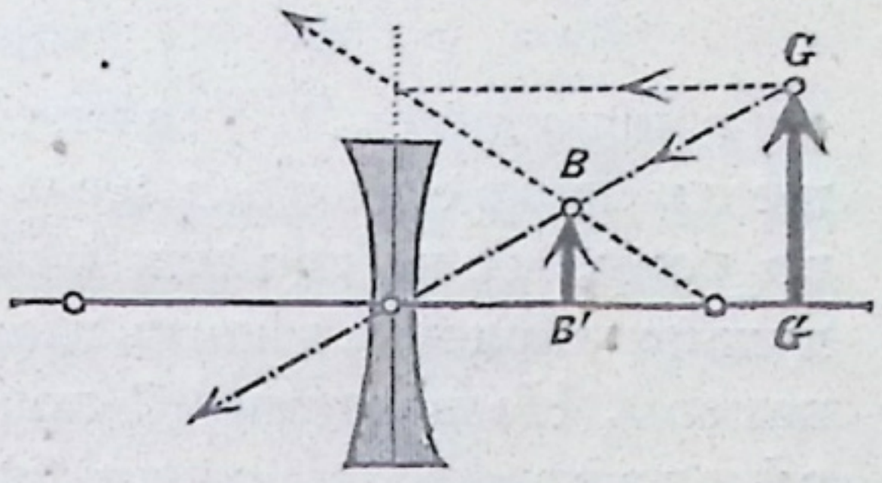


Фиг. 311.

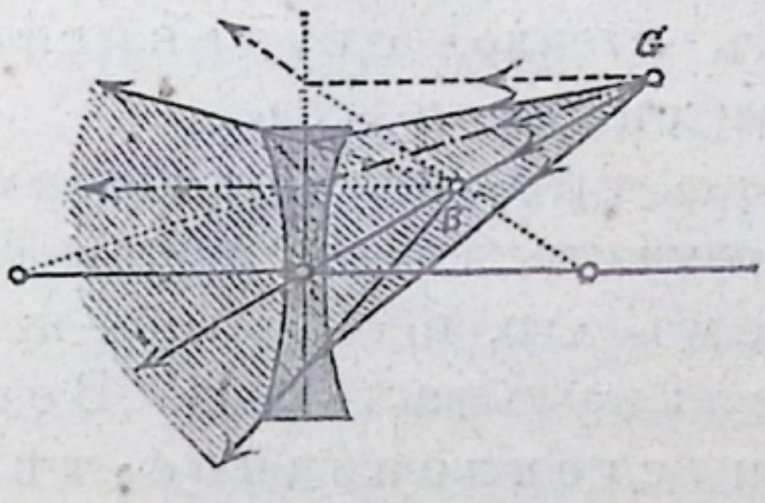
бирательныхъ зеркалахъ, точно такъ же все изложенное въ §§ 168 и 169 относительно разсѣивательнаго зеркала въ полномъ объемѣ можетъ быть приложено къ разсѣивательнымъ линзамъ.



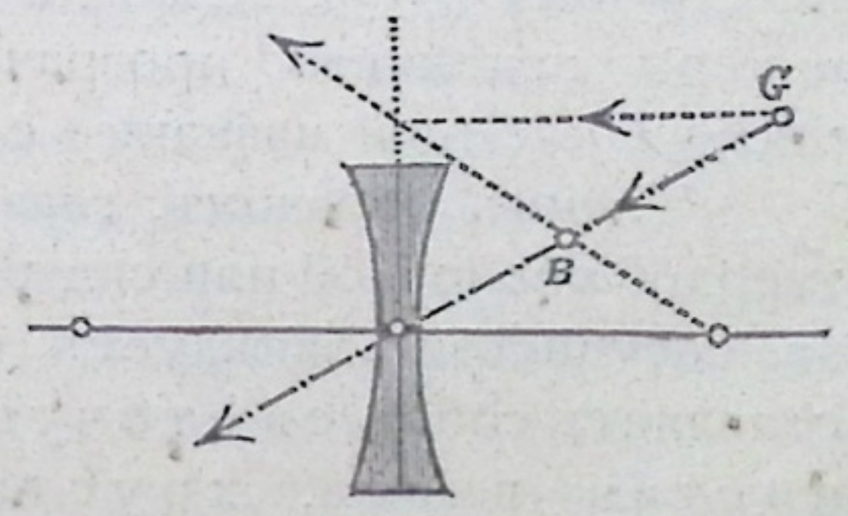
Фиг. 312.



Фиг. 313.



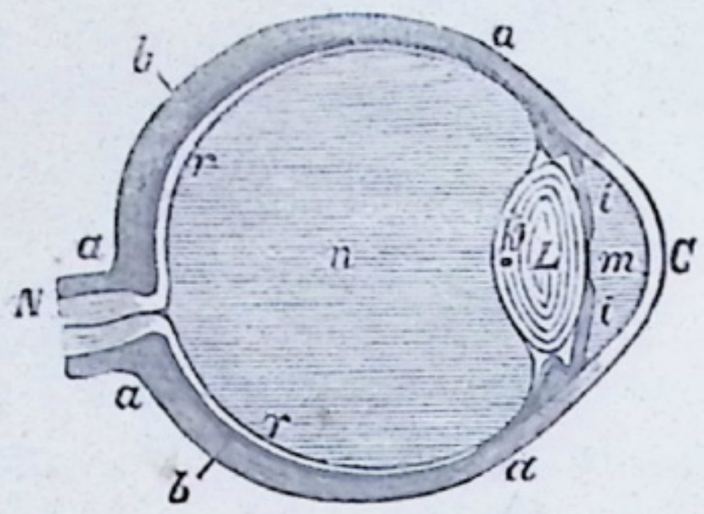
Фиг. 314.



Фиг. 315.

Помня это, объясните фиг. 311 и 312! — Точно такъ же, какъ для разсѣивательныхъ зеркалъ, дѣлается **построеніе изображеній** и для **разсѣивательныхъ линзъ**. Объясните фигуры 313, 314 и 315, а также отвѣтьте на вопросы и рѣшите задачи, относящіеся къ выпуклому зеркалу, сдѣлавъ въ нихъ соотвѣтствующія измѣненія такъ, чтобы они относились къ разсѣивательнымъ линзамъ!

179. **Глазъ Человѣческій глазъ** (глазное яблоко) лежитъ въ глазной впадинѣ и снаружи покрытъ бѣлой непрозрачной оболочкой (*a*, *a*, *a*, фиг. 316), называемой твердой оболочкой или склеротикой; спереди послѣдняя переходитъ въ прозрачную роговую оболочку (*C*). Внутри яблока къ роговой оболочкѣ примыкаетъ сосудистая оболочка (*b*), окрашенная особымъ красящимъ веществомъ (пигментомъ) въ черно-бурый цвѣтъ. Спереди, гдѣ склеротика примыкаетъ къ прозрачной роговицѣ, сосудистая оболочка переходитъ въ радужную оболочку (*ii*). Передняя сторона радужной оболочки у разныхъ лицъ имѣетъ различную окраску (цвѣтъ глазъ). Въ серединѣ радужная оболочка имѣетъ круглое отверстіе, называемое зрачкомъ. Съ помощью своихъ мышечныхъ волоконъ, сокращающихся независимо отъ нашей воли, зрачекъ непроизвольно расширяется и суживается, смотря по тому, меньше или больше свѣта попадаетъ въ глазъ. Радужная оболочка дѣлитъ глазъ на переднюю (*m*) и заднюю (*n*) камеры. На внутренней поверхности сосудистой оболочки лежитъ сѣтчатая оболочка (*r*), которую нужно разсматривать, какъ развѣтвленіе зрительнаго нерва (*N*), выходящаго изъ головного мозга. Между радужной оболочкой и прозрачной роговицей, т. е. въ передней камерѣ (*m*) глаза находится водянистая влага. Въ задней камерѣ (*n*), сейчасъ же за зрачкомъ, лежитъ прозрачный хрусталикъ (*L*). Остальное пространство задней камеры заполнено прозрачной, какъ стекло, студенистой массой, носящей названіе стекловиднаго тѣла.

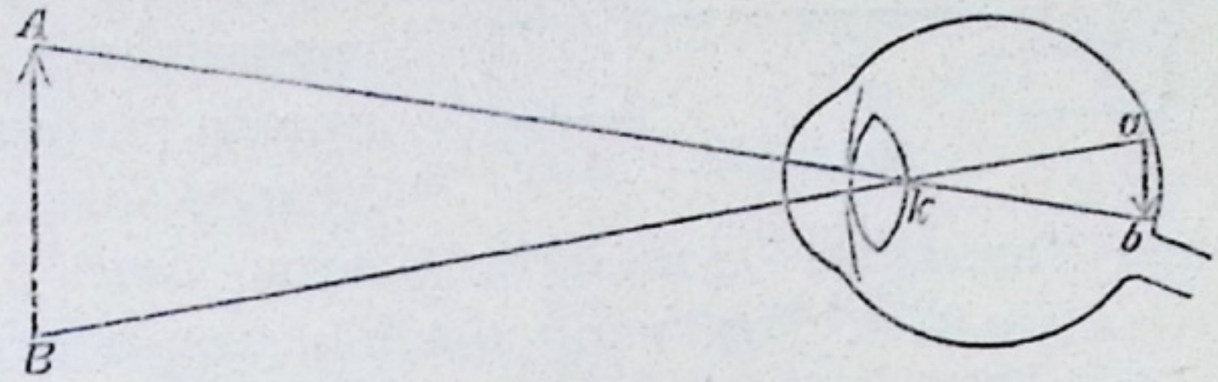


Фиг. 316.

Такимъ образомъ, глазъ окруженъ тремя оболочками: твердой оболочкой или склеротикой—служитъ для защиты глаза, сосудистой—завѣдуетъ питаніемъ его, и сѣтчатой—представляетъ собой свѣточувствительную часть глаза. Водянистая влага, хрусталикъ и стекловидное тѣло являются свѣтопреломляющими срединами и въ соединеніи съ прозрачной роговой оболочкой вызываютъ преломленіе свѣта, проникающаго въ глазъ.

180. **Зрѣніе.** Отъ всякаго свѣтящагося или освѣщеннаго предмета свѣтовые лучи расходятся по всѣмъ направленіямъ. Если они попадаютъ въ глазъ, то они преломляются свѣтопре-

ломляющими срединами послѣдняго, которыя всѣ вмѣстѣ дѣйствуютъ, какъ одна собирательная линза; преломленіе это происходитъ такимъ образомъ, что на сѣтчатой оболочкѣ получается обратное и уменьшенное изображеніе *ab* предмета *AB* (фиг. 317). Раздраженіе, производимое свѣтомъ въ мѣстахъ, на которыя падаетъ это изображеніе, по зрительному нерву проводится въ мозгъ и тамъ вызываетъ впечатлѣніе предмета; мы **видимъ**.



Фиг. 317.

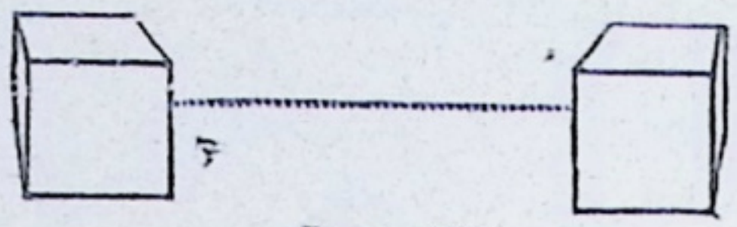
Отъ каждой точки свѣтящагося предмета одинъ лучъ, подобно главному лучу въ линзахъ, проходитъ черезъ глазъ безъ преломленія; онъ называется направляющимъ лучомъ. Всѣ направляющіе лучи пересѣкаются въ одной точкѣ *k*, лежащей весьма близко къ задней поверхности хрусталика и называемой узловой точкой или оптическимъ центромъ глаза (*k*, фиг. 316 и 317). Направляющій лучъ, соединяющій точки *C* (середину роговицы) и *k* , образуетъ оптическую ось глаза.

181. **Прямое зрѣніе.** Хотя изображенія на сѣтчатой оболочкѣ получаются обратныя, однако предметы мы видимъ въ ихъ истинномъ положеніи, т. е. видимъ ихъ не обратно, а **прямо**, такъ какъ каждая свѣтящаяся точка перемѣщается для насъ въ томъ направленіи, которое имѣетъ лучъ, дѣйствующій на сѣтчатую оболочку. Такъ какъ свѣтовые лучи пересѣкаются внутри глаза, то тѣ лучи, которые попадаютъ на сѣтчатую оболочку внизу, идутъ сверху, а лучи, попадающіе на нее вверху, идутъ снизу.

182. **Одиночное видѣніе. Почему мы не видимъ предметовъ вдвойнѣ?** Отъ каждаго предмета получается одновременно изображеніе на сѣтчатой оболочкѣ обоихъ глазъ, и, судя по этому, мы должны бы видѣть предметы вдвойнѣ. Двойное зрѣніе появляется у насъ тогда, когда мы сбоку надавливаемъ на глазъ, такъ что онъ выводится изъ своего естественнаго положенія и принимаетъ такое, которое мы наблюдаемъ у косыхъ. **Одинъ** предметъ мы видимъ только тогда, когда его изображенія падаютъ на соотвѣтственно расположенныя мѣста сѣтчатой оболочки.

183. **Тѣлесное рельефное видѣніе.** Если мы будемъ смотрѣть на очень отдаленное тѣло, напр. кубъ, поперемѣнно то

лѣвымъ, то правымъ глазомъ, то благодаря почти полной параллельности оптическихъ осей глаза, мы увидимъ обоими глазами одну и ту же картину. Напротивъ, при разсматриваніи близко передъ нами находящагося тѣла (фиг. 318) попеременно то однимъ, то другимъ глазомъ, мы получаемъ различныя впечатлѣнія; правый глазъ видитъ предметъ больше съ правой стороны, лѣвый — съ лѣвой. Такимъ образомъ, оба глаза въ сущности даютъ намъ неодинаковыя изображенія. Эти изображенія сливаются при видѣніи въ одно и какъ бы дополняютъ другъ другу, такъ что мы видимъ тѣло въ его пластической, **тѣлесной** формѣ, **съ его рельефомъ.**



Фиг. 318.

Доказательство правильности такого объясненія даетъ **стереоскопъ.** Это приборъ, въ которомъ передъ каждымъ изъ нашихъ глазъ помѣщается такое изображеніе предмета, какое воспринялъ бы этотъ глазъ, если бы мы смотрѣли имъ однимъ. Но оба изображенія сливаются въ приборѣ въ одно изображеніе, которое при этомъ пріобрѣтаетъ для насъ тѣлесную, рельефную форму (пластичность).

184. **Видимая величина предметовъ. Видимая величина предмета** зависитъ отъ угла, образуемаго направляющими лучами, идущими отъ крайнихъ точекъ предмета. Мы называемъ этотъ уголъ—угломъ зрѣнія. Предметъ долженъ казаться намъ тѣмъ больше, чѣмъ больше его изображеніе на сѣтчатой оболочкѣ; величина же изображенія на сѣтчатой оболочкѣ зависитъ отъ величины угла зрѣнія. Если послѣдній очень малъ, то мы уже не видимъ предмета или, по крайней мѣрѣ, не видимъ его ясно.

Когда мы смотримъ на параллельные рельсы желѣзнодорожнаго пути или на деревья прямой аллеи, то и тѣ и другіе кажутся намъ сходящимися вдали. Съ весьма большого разстоянія двѣ точки, другъ противъ друга лежащія, видны подъ такимъ малымъ угломъ зрѣнія, что глазъ уже не можетъ воспринять разстояніе между ними. (Объясните это!). При полномъ солнечномъ затмѣніи солнце совершенно закрывается отъ насъ луной, имѣющей гораздо меньшіе размѣры, чѣмъ солнце!

185. **Продолжительность свѣтового впечатлѣнія.** Свѣтовое впечатлѣніе ощущается въ глазу дольше, чѣмъ происходитъ дѣйствіе свѣта на сѣтчатую оболочку. Если мы стоящей на ребрѣ монетѣ сообщимъ достаточно сильный ударъ перпендикулярно къ ея плоскостямъ, то монета начнетъ быстро вращаться; при этомъ мы уже не видимъ отдѣльныхъ положеній ея, а вся монета кажется намъ шаромъ. Точно также при быстромъ вращеніи по кругу раскаленнаго угля мы видимъ огненное кольцо.

Если быстро вращать кружокъ, на одной сторонѣ котораго нарисована птица, а на другой клѣтка, то мы уже не воспринимаемъ отдѣльно ни того, ни другого изображенія, а видимъ птицу въ клѣткѣ. (Тавматропъ). Кинематографъ.

186. **Способность приспособленія (аккомодація).** Если мы взглянемъ на иглу, отстоящую на 25 цт отъ нашего глаза, и затѣмъ быстро переведемъ глазъ на отдаленный переплетъ оконной рамы, то въ первый моментъ этотъ переплетъ кажется глазу расплывающимся; напротивъ, если мы сначала направимъ глазъ на переплетъ рамы, а потомъ на иглу, то игла въ первый моментъ представится намъ на мгновеніе расплывчатой. Чтобы **приспособиться** къ новому разстоянію, для глаза нужно, слѣдовательно, нѣкоторое, хотя и очень малое время; въ первомъ случаѣ отчетливое изображеніе переплета рамы на мгновеніе образуется передъ сѣтчатой оболочкой, во второмъ — отчетливое изображеніе иглы на мгновеніе попадаетъ за сѣтчатую оболочку.

Мы видимъ предметъ отчетливо только тогда, когда его изображеніе падаетъ какъ разъ на сѣтчатую оболочку. Однако мы можемъ отчетливо видѣть предметы, находящіеся на различныхъ разстояніяхъ отъ нашего глаза. Ясно, что глазъ въ каждомъ случаѣ долженъ быть въ состояніи получать отчетливое изображеніе на сѣтчатой оболочкѣ, онъ долженъ приспособляться къ различнымъ разстояніямъ. Это достигается благодаря тому, что кривизна хрусталика можетъ нѣсколько измѣняться, такъ что преломленіе входящихъ въ глазъ свѣтовыхъ лучей можетъ дѣлаться сильнѣе или слабѣе. Способность глаза образовывать отчетливыя изображенія различно удаленныхъ предметовъ какъ разъ на сѣтчатой оболочкѣ называется **способностью приспособленія** или **аккомодаціей** глаза.

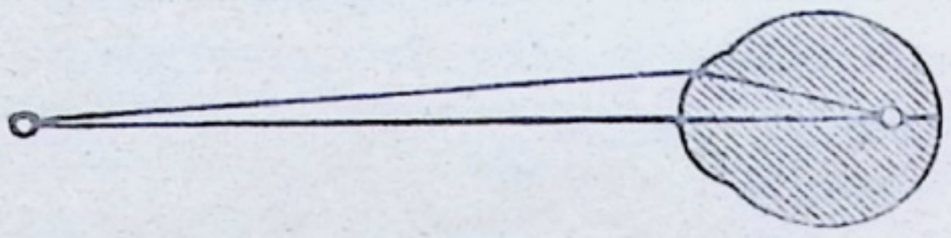
137. **Нормальный, близорукій и дальнозоркій глазъ.** Глазъ, который можетъ безъ напряженія отчетливо видѣть обыкновенную печать на разстояніи около 25 цт, считается **нормальнымъ**. Указанное разстояніе называется **разстояніемъ нормальнаго зрѣнія**. Къ разстояніямъ меньшимъ или большимъ, чѣмъ разстояніе нормальнаго зрѣнія, глазъ долженъ приспособляться.

Нормальный глазъ приспособляется почти ко всякому большому разстоянію; для болѣе же близкихъ разстояній онъ можетъ приспособляться приблизительно до 10 — 12 цт. Поэтому мы говоримъ, что ближайшая точка

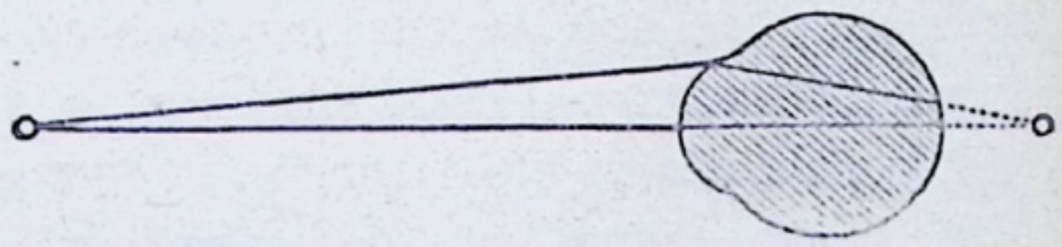
для нормальнаго глаза лежитъ на разстояніи 10—12 цт; отдаленная же точка находится на безконечно большомъ разстояніи отъ глаза.

Глаза, для которыхъ разстояніе наилучшаго зрѣнія меньше, чѣмъ нормальное, называются **близорукими**; глаза же, для которыхъ разстояніе наилучшаго зрѣнія больше, чѣмъ нормальное, считаются **дальнозоркими**.

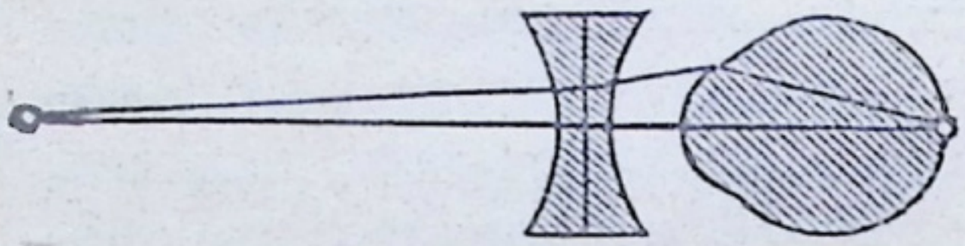
Въ соотвѣтствіи съ этимъ для близорукаго глаза, какъ ближайшая, такъ и отдаленная точки лежатъ на болѣе близкомъ разстояніи, чѣмъ для нормальнаго глаза. Для дальнозоркаго глаза ближайшая точка лежитъ дальше, чѣмъ на 10—12 цт. Отдаленной же точки въ вышеуказанномъ смыслѣ для него нѣтъ. Причина близорукости заключается въ слишкомъ сильной кривизнѣ хрусталика или въ томъ, что ось глаза слишкомъ длинна. Причиной дальнозоркости служатъ свойства глаза, противоположныя указаннымъ; по большей части дальнозоркость появляется въ старости.



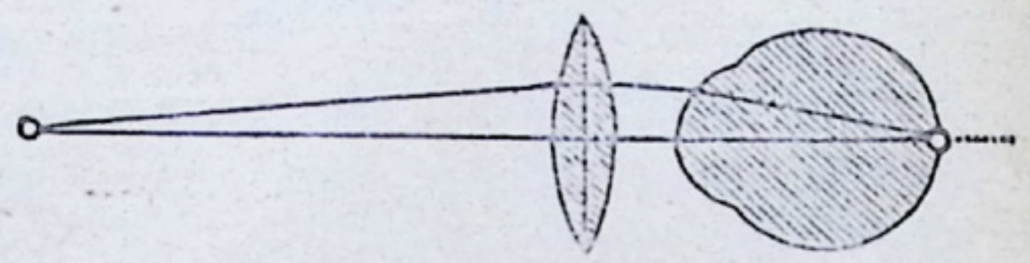
Фиг. 319 *a*.



Фиг. 320 *a*.



Фиг. 319 *b*.



Фиг. 320 *b*.

У близорукихъ отчетливое изображеніе предметовъ, находящихся на разстояніи нормальнаго зрѣнія, получается передъ сѣтчатой оболочкой; свѣтовые лучи у нихъ преломляются слишкомъ сильно (фиг. 319 *a*). У дальнозоркихъ отчетливаго изображенія предметовъ, отстоящихъ отъ глаза на разстояніи нормальнаго зрѣнія, на сѣтчатой оболочкѣ не получается; оно должно бы получиться позади послѣдней; въ дальнозоркомъ глазу свѣтовые лучи преломляются слишкомъ мало (фиг. 320 *a*).

188. **Очки**. Можно привести изображеніе предмета, находящагося на разстояніи нормальнаго зрѣнія, какъ разъ на сѣтчатую оболочку и въ близорукомъ, и въ дальнозоркомъ глазу; для перваго пользуются разсѣивательной линзой соотвѣтствующей кривизны, а для второго собирательной линзой, кривизна которой также должна соотвѣтствовать свойствамъ глаза. Въ первомъ случаѣ лучи прежде, чѣмъ вступить въ глазъ, рвзсѣиваются еще больше, во второмъ же они

сильнѣе собираются, такъ что и въ томъ и въ другомъ случаѣ точка пересѣченія лучей попадаетъ какъ разъ на сѣтчатую оболочку (фиг. 319 *b* и 320 *b*).

Такого рода линзы, примѣняемыя близорукими и дальнозоркими для достиженія отчетливаго зрѣнія, называются **очками**. Для очковъ близорукихъ нужны разсѣивательныя (вогнутыя) линзы, напротивъ, для очковъ дальнозоркихъ—собирательныя (выпуклыя).

Очки слѣдуетъ носить только въ случаѣ дѣйствительной необходимости. Выбирать слѣдуетъ всегда такія очки, въ которыя глазъ можетъ видѣть отчетливо безъ напряженія. При начинающейся близорукости или дальнозоркости нужно стараться брать линзы со слабой кривизной и только при усиленіи этихъ недостатковъ глазъ постепенно переходитъ къ стекламъ съ болѣе значительной кривизной, такъ называемымъ, болѣе сильнымъ стекламъ. Глазные врачи, а также оптики для опредѣленія степени близорукости или дальнозоркости употребляютъ заштрихованные рисунки убывающей величины, которые они держатъ на соотвѣтствующемъ разстояніи отъ глазъ испытуемыхъ. Этимъ избѣгается отнимающее много времени и вредное для глазъ пробованье многихъ стеколъ. Самое точное назначеніе подходящихъ очковъ можетъ быть сдѣлано только глазнымъ врачемъ съ помощью глазного зеркала.

Чтеніе и писаніе въ сумеркахъ, а также при прямомъ яркомъ солнечномъ свѣтѣ, писаніе при освѣщеніи справа, сильное наклоненіе головы при писаніи и чтеніи слишкомъ мелкаго и неяснаго шрифта чрезвычайно опасны для глазъ.

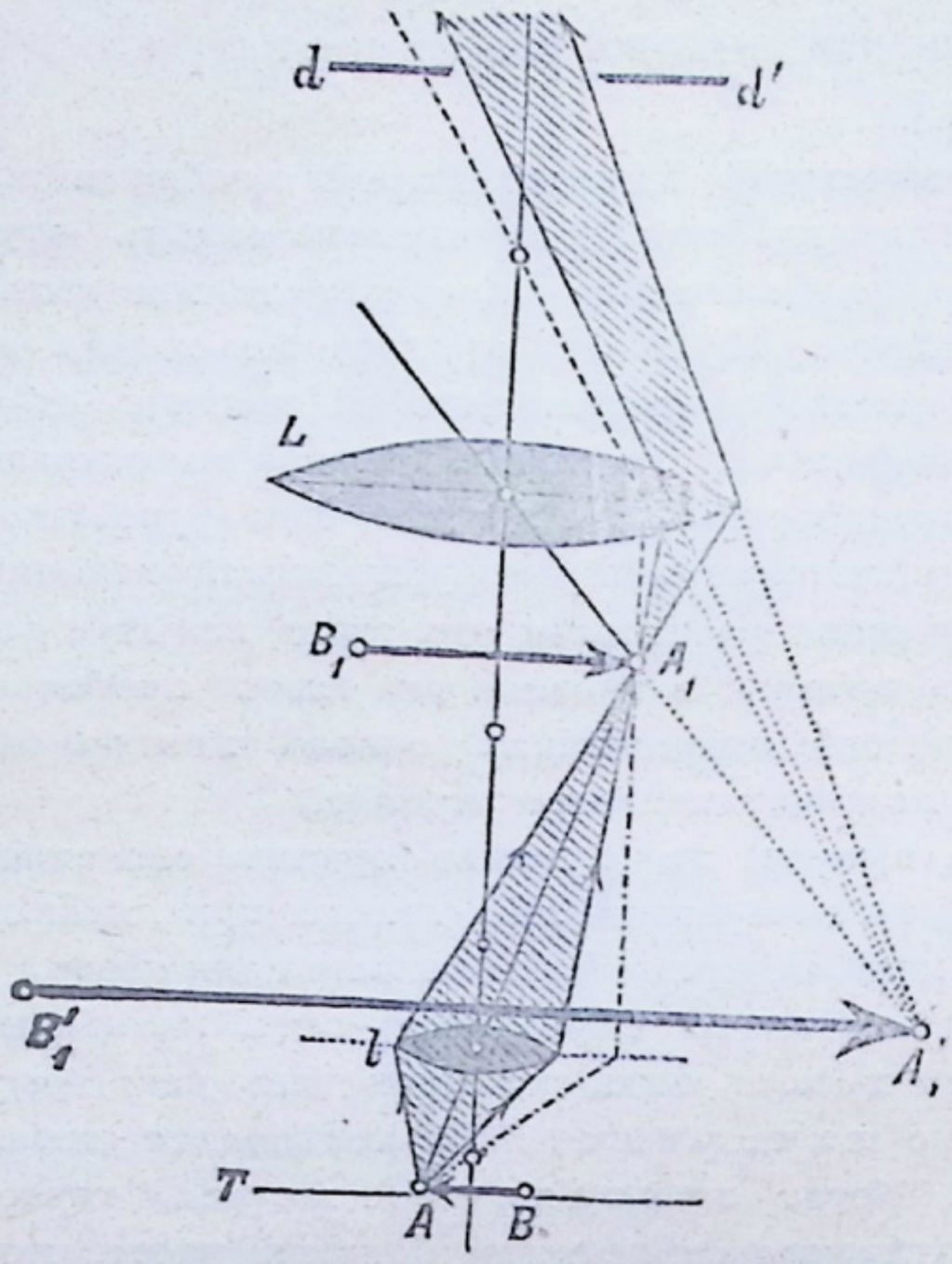
Когда хрусталикъ мутнѣетъ, то образуется такъ называемый катарракта; онъ по большей части можетъ быть излѣченъ, для чего помутнѣвшій хрусталикъ удаляется (снятіе катаракта) и замѣняется сильной выпуклой линзой (спеціальныя очки). Когда зрительный нервъ теряетъ чувствительность, то получается неизлѣчимая слѣпота; по большей части неизлѣчимымъ бываетъ также перерожденіе стекловиднаго тѣла.

Нѣкоторые люди не могутъ отличать извѣстные цвѣта другъ отъ друга. Этотъ недостатокъ глаза называется цвѣтовой слѣпотой.

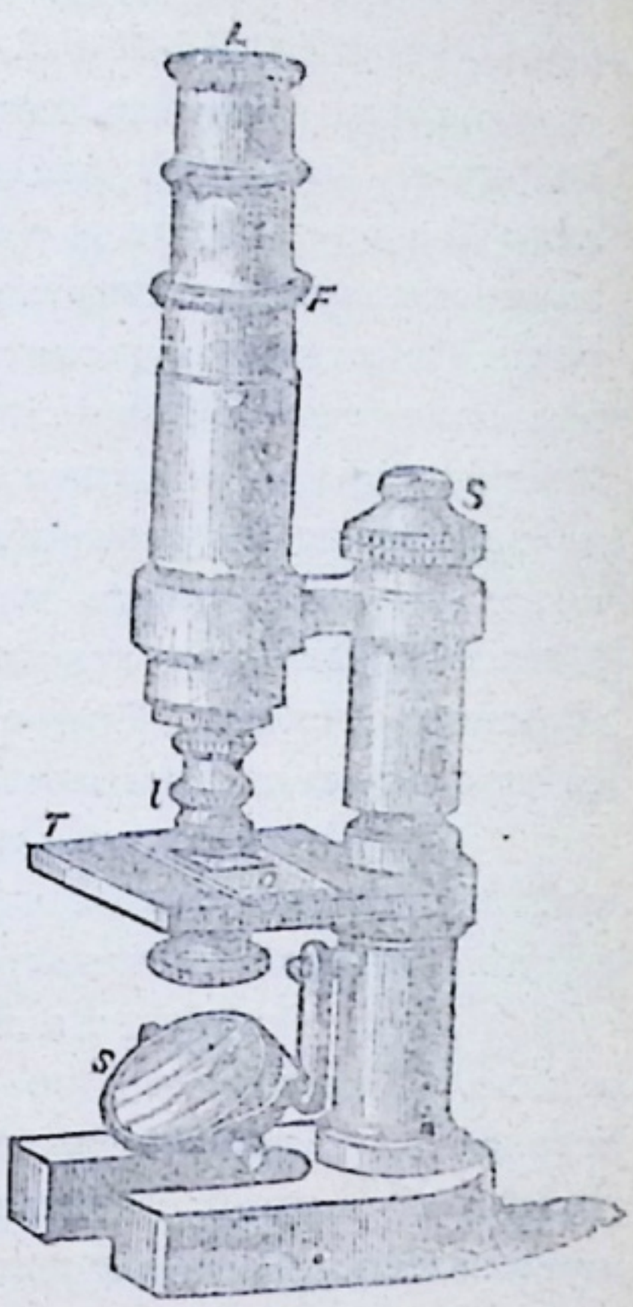
189. **Микроскопъ.** Очень маленькіе предметы (напр. мелкіе органы растеній и животныхъ и т. д.) или совершенно недоступны нашему зрѣнію, или же мы видимъ ихъ, но только неясно. Дѣйствительно, для того, чтобы можно было разсмотрѣть подробности очень маленькаго предмета, онъ долженъ дать достаточно большое изображеніе на сѣтчатой оболочкѣ, а слѣдовательно, мы должны-бы помѣстить его на очень незначительномъ разстояніи отъ глаза; но, какъ извѣстно (§ 187), къ разстоянію меньшему, чѣмъ ближайшая точка, глазъ уже не въ силахъ приспособиться.

Поэтому, чтобы отчетливо видѣть такіе маленькіе предметы, мы пользуемся особыми приборами, которые называются **микроскопами**. Въ § 177 мы познакомились съ употребленіемъ выпуклыхъ линзъ съ короткимъ фокуснымъ разстояніемъ въ качествѣ

лупъ или простыхъ микроскоповъ. Если достигаемыя при помощи послѣднихъ увеличенія оказываются недостаточными, то прибѣгаютъ къ сложному микроскопу. Оптическое дѣйствіе его поясняется фигурой 321, а внѣшній видъ представленъ на фиг. 322. Передъ линзой l съ маленькимъ фокуснымъ раз-



Фиг. 321.



Фиг. 322.

стояніемъ находится маленькій предметъ (объектъ) AB на разстояніи, нѣсколько превышающемъ фокусное разстояніе линзы. По другую сторону линзы получится обратное и увеличенное изображеніе A_1B_1. Если разсматривать послѣднее въ собирательную линзу L, при чемъ изображеніе A_1B_1 должно находиться между линзой L и ея главнымъ фокусомъ и при томъ вблизи послѣдняго, то мы увидимъ обратное и еще болѣе увеличенное изображеніе $A'_1B'_1$ свѣтящагося предмета AB, которое будетъ находиться на разстояніи яснаго зрѣнія. Объ линзы l и L помѣщаются на концахъ вычерненной внутри трубки (фиг. 322). Обращенная къ предмету (объекту) линза l называется объективомъ; она имѣетъ задачей давать дѣйствительное увеличенное изображеніе A_1B_1 (фиг. 321) предмета AB. Обращенная къ глазу линза L называется окуля-

ромъ (по-латыни oculus—глазъ); черезъ нее мы разсматриваемъ изображеніе A_1B_1 какъ черезъ лупу.

Объясните ходъ лучей въ сложномъ микроскопѣ по фиг. 321!— Общая оптическая ось обѣихъ линзъ l и L для удобства работы съ микроскопомъ устанавливается обыкновенно вертикально (фиг. 322). Обѣ линзы по большей части укрѣпляются неподвижно въ своихъ оправахъ. Точной установки для полученія изображенія въ надлежащемъ мѣстѣ мы достигаемъ поднятіемъ и опусканіемъ трубки F при помощи винта S, при чемъ объективъ l удаляется отъ лежащаго на столикѣ T предмета (объекта) o или приближается къ нему. Для лучшаго освѣщенія прозрачнаго объекта служитъ устроенное внизу маленькое вогнутое зеркало (s), могущее вращаться въ разныхъ направленіяхъ. Непрозрачные объекты освѣщаются сверху при помощи собирательной линзы.

Для испытанія достоинствъ микроскопа мы можемъ воспользоваться крыломъ бабочки; съ помощью хорошаго микроскопа уже при линейномъ увеличеніи *) въ 60 разъ мы видимъ въ этомъ крылѣ рѣзко отдѣленныя другъ отъ друга чешуйчатыя полоски. Лучшіе микроскопы даютъ линейное увеличеніе больше, чѣмъ въ 1000 разъ.

Конечно, ни одинъ инструментъ не принесъ человѣчеству столько пользы, какъ микроскопъ. Съ помощью его было изучено внутреннее строеніе органовъ человѣка, животныхъ и растеній. Микроскопъ открылъ намъ міръ мельчайшихъ животныхъ и растеній, и микроскопическими изслѣдованіями установлено, что многія болѣзни вызываются мельчайшими организмами животнаго и растительнаго царствъ и распространяются при помощи послѣднихъ (инфекціонныя болѣзни).

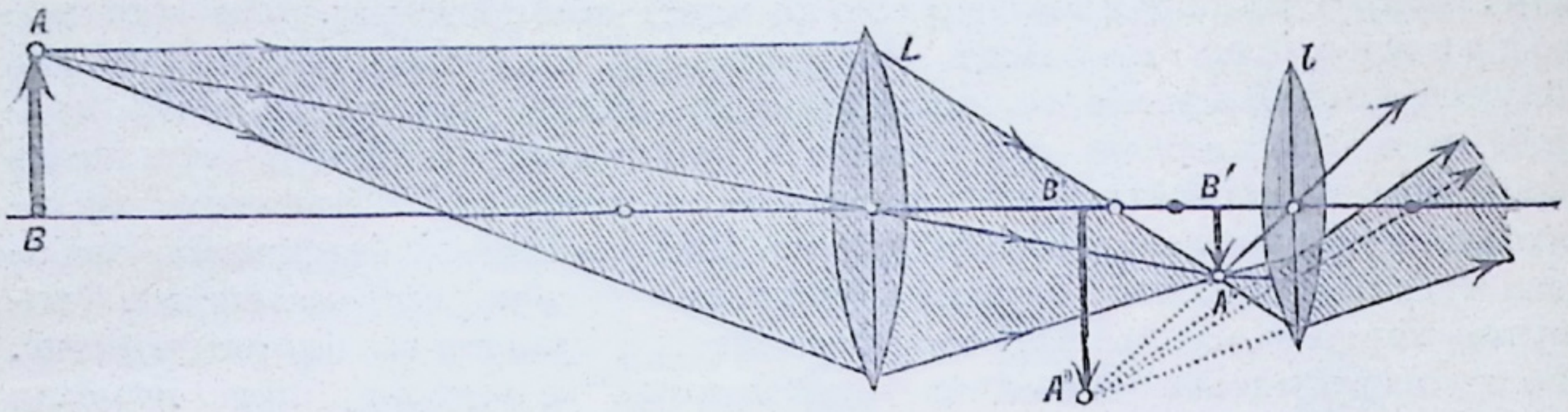
190. **Зрительныя трубы.** *а*) Предметовъ, находящихся на очень большомъ разстояніи отъ нашего глаза (напр. далекихъ зданій, небесныхъ тѣлъ и т. п.), несмотря на ихъ величину, мы не можемъ видѣть простымъ (невооруженнымъ) глазомъ отчетливо или даже вовсе не въ состояніи видѣть, такъ какъ ихъ уголъ зрѣнія настолько малъ, что образовавшееся на сѣтчатой оболочкѣ изображеніе вслѣдствіе своей недостаточной величины не позволяетъ уже видѣть подробности или даже весь предметъ. Въ этомъ случаѣ мы пользуемся зрительными трубами, телескопами или биноклями, благодаря которымъ эти предметы представляются намъ по размѣрамъ большими и болѣе отчетливыми.

Зрительная труба — оптическій инструментъ, служащій для увеличенія изображенія предмета, находящагося отъ насъ на довольно значительномъ разстояніи, благодаря чему это изображеніе какъ бы приближается къ намъ.

---

*) Т. е. каждая длина, напр. 0,01 **мм**, представляется намъ въ 60 разъ больше; въ данномъ случаѣ, значитъ, длина 0,01 **мм** представляется намъ равной 0,6 **мм**.

Изъ различнаго рода зрительныхъ трубъ наиболѣе простой является небесная труба, или телескопъ Кеплера. Этотъ инструментъ походитъ на сложный микроскопъ. Состоитъ онъ изъ двухъ собирательныхъ линзъ L и l (фиг. 323). Лучи,

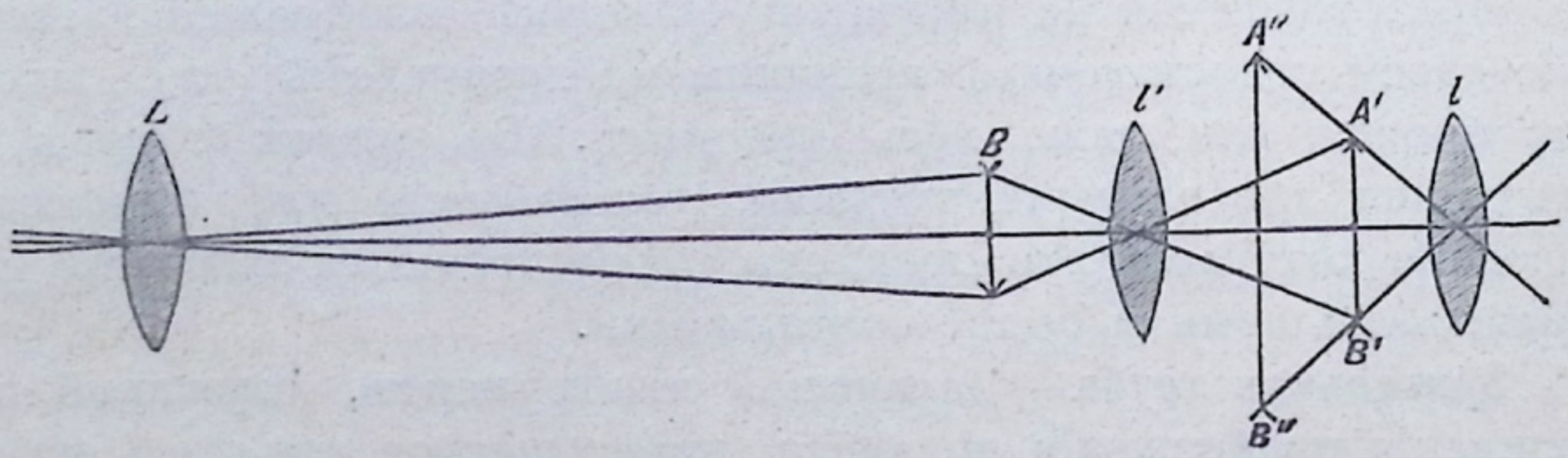


Фиг. 323.

идущіе отъ отдаленнаго предмета, падаютъ на объективъ L и собираются, образуя изображеніе $A'B'$, расположенное внутри фокуснаго разстоянія линзы l и при томъ вблизи главнаго фокуса ея. Это дѣйствительное изображеніе разсматривается черезъ линзу l (окуляръ), какъ черезъ лупу; тогда глазъ видитъ въ $A''B''$ изображеніе увеличенное, обратное и при правильномъ положеніи l, находящееся на разстояніи отчетливаго зрѣнія.

Объясните ходъ лучей на фиг. 323! Различіе между описаннымъ телескопомъ и сложнымъ микроскопомъ состоитъ въ томъ, что фокусное разстояніе и діаметръ объектива у микроскопа малы, а у телескопа велики. Небесная труба, какъ показываетъ само названіе, примѣняется для наблюденія звѣздъ и затѣмъ въ измѣрительныхъ приборахъ (въ геодезіи, землемѣріи). Здѣсь полученіе обратнаго изображенія наблюдаемаго предмета не затрудняетъ работы.

б) Земной телескопъ или подзорная труба даетъ



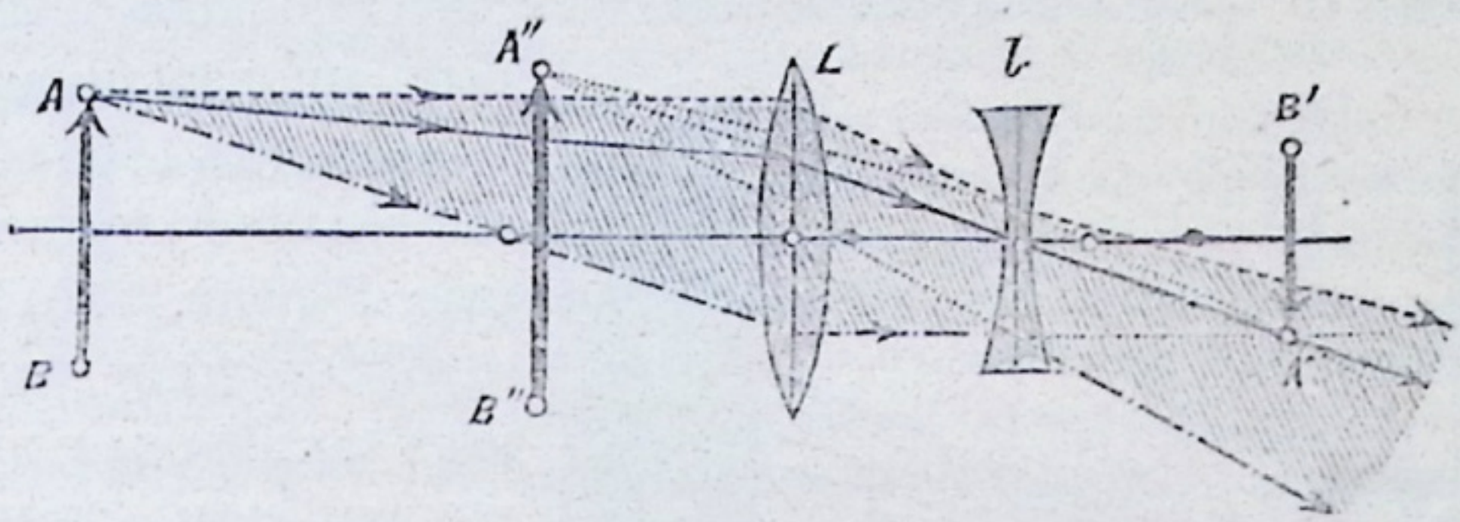
Фиг. 324.

намъ прямое, отчетливое изображеніе отдаленныхъ предметовъ. Кромѣ объектива L (фиг. 324) и окуляра l онъ имѣетъ еще третью линзу l', которая даетъ дѣйствительное

и обратное изображеніе дѣйствительнаго и обратнаго изображенія BA, получаемаго отъ объектива. Понятно, что изображеніе обратное обратному будетъ прямымъ. Изображеніе AB образуется внѣ фокуснаго разстоянія линзы l', поэтому послѣдняя даетъ еще изображеніе изображенія AB; по отношенію къ предмету это новое изображеніе $A'B'$, какъ мы уже указали, является прямымъ; при разсматриваніи его черезъ окуляръ l получается мнимое, увеличенное и прямое изображеніе $A''B''$.

Вмѣсто линзъ l' и l въ нашихъ обыкновенныхъ подзорныхъ трубахъ по большей части употребляются четыре линзы, вдѣланныя въ одну трубку. Двѣ изъ нихъ играютъ роль линзы l', двѣ другія служатъ окуляромъ l.

b) Галилеева труба даетъ прямыя изображенія; объективомъ въ ней служитъ собирательная линза L (фиг. 325), а окуляромъ разсѣивательная линза l. Окуляръ въ этой трубѣ помѣщается внутри фокуснаго разстоянія объектива L. Этимъ устраняется возможность полученія обратнаго изображенія $A'B'$. Лучи, идущіе отъ точки A и сходящіеся благодаря линзѣ L въ точкѣ A', разсѣивательной линзой l превращаются въ расходящіеся; когда эти лучи попадаютъ въглазъ, то послѣдній видитъ предметъ на геометрическомъ продолженіи этихъ лучей по прямой линіи назадъ къ предмету; такимъ образомъ мы воспринимаемъ мнимое прямое изображеніе $A''B''$, находящееся на разстояніи отчетливаго зрѣнія*).



Фиг. 325.

Эта труба примѣняется преимущественно въ видѣ бинокля, а также полевой подзорной трубы.

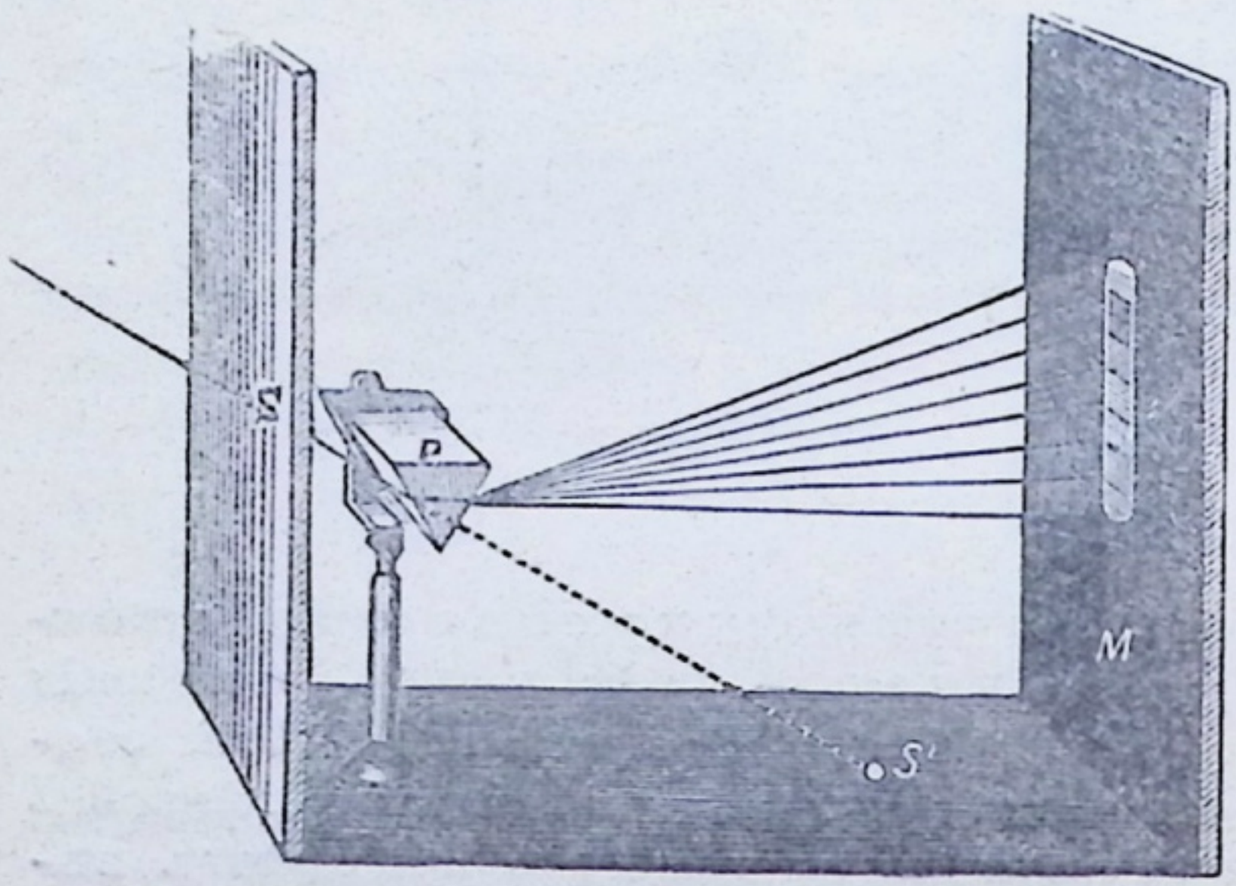
---

*) На фиг. 325 сначала строится изображеніе A' точки A, для чего изъ послѣдней проводится параллельный оси лучъ (изображенъ черточками) и лучъ, проходящій черезъ главный фокусъ (нанесенъ черточками поперемѣнно съ точками). Затѣмъ черезъ точку A' проводятъ лучъ, проходящій черезъ оптическій центръ окуляра; этотъ лучъ для линзы l является главнымъ лучемъ и, значитъ, не испытываетъ отклоненія. Напротивъ, вышеупомянутый лучъ, проходящій черезъ главный фокусъ линзы L, для окуляра является лучемъ параллельнымъ оси и отклоняется окуляромъ такъ, какъ будто бы онъ исходилъ изъ его мнимаго главнаго фокуса (на фигурѣ изображенъ чернымъ сплошнымъ кружкомъ). Точка пересѣченія вышеупомянутаго главнаго луча съ этимъ лучемъ и даетъ точку A''.

191. **Разложеніе свѣта на цвѣта или цвѣтное свѣторазсѣяніе.** *а*) При нѣкоторыхъ условіяхъ капли росы блестятъ, отливая разными цвѣтами. Подобную „игру цвѣтовъ“ обнаруживаютъ отшлифованныя хрустальныя подвѣски на люстрѣ, отшлифованные прозрачные, драгоцѣнные камни (особенно красиво это въ алмазѣ).

Если мы будемъ смотрѣть черезъ стеклянную призму (§ 173) на пламя поставленной надлежащимъ образомъ свѣчи, то мы увидимъ его отклоненнымъ въ сторону (а именно къ преломляющему ребру) и кромѣ того окруженнымъ по краямъ цвѣтными каймами. Всѣ эти явленія носятъ названіе **цвѣтного свѣторазсѣянія или разложенія свѣта на цвѣта.**

Сущность этого явленія видна изъ слѣдующаго опыта, впервые продѣланнаго Ньютономъ (въ 1666 г.). Чрезъ небольшое круглое отверстіе *S* (фиг. 326) въ темную комнату пропускаютъ солнечные лучи. На полу при этомъ появляется круглое бѣлое изображеніе *S'* солнца. Затѣмъ на пути солнечныхъ лучей ставится трегранная, стеклянная призма *P* съ преломляющимъ ребромъ, обращеннымъ внизъ. Тогда на бѣломъ экранѣ *M* появляется изображеніе солнца въ видѣ продолговатой полоски, уже не бѣлой, но окрашенной въ разные цвѣта и расположенной выше, чѣмъ прежнее бѣлое круглое изображеніе солнца *S'*. Отчетливо воспринимаемые цвѣта всегда располагаются, считая снизу вверхъ, въ слѣдующемъ порядкѣ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій и фіолетовый. Цвѣта эти не всѣ занимаютъ одинаковое пространство.



Фиг. 326.

(Ср. приложенную въ концѣ таблицу, отпечатанную красками, фиг. 1).

Это разноцвѣтное изображеніе солнца называется солнечнымъ спектромъ; отдѣльные цвѣта его называются цвѣта-

ми спектра, а также призматическими цвѣтами. Описанный опытъ показываетъ, что бѣлый солнечный свѣтъ состоитъ изъ разноцвѣтныхъ лучей, изъ которыхъ красные обладаютъ наименьшей преломляемостью, а фіолетовые наибольшей. Разложеніе бѣлаго свѣта на эти лучи съ помощью призмы называется цвѣтнымъ свѣторазсѣяніемъ. Цвѣта спектра переходятъ другъ въ друга посредствомъ промежуточныхъ оттѣнковъ, такъ что собственно спектръ содержитъ не только семь отдѣльныхъ цвѣтовъ, но и безконечно большое число различныхъ цвѣтовъ (напр. цѣлый рядъ переходящихъ другъ въ друга красныхъ лучей), которые всѣ обладаютъ различной преломляемостью.

Относительно воспроизведенія Ньютонова опыта слѣдуетъ замѣтить, что онъ удается гораздо лучше, если пучекъ солнечныхъ лучей *SS'* пропускать въ комнату при помощи вращающагося зеркала (геліостата) и отверстіе *S* дѣлать не круглое, а въ видѣ узкой щели, идущей параллельно преломляющему ребру призмы. Еще болѣе чистый спектръ, имѣющій теперь форму прямоугольной полоски (спектръ въ видѣ полоски), получается въ томъ случаѣ, когда между щелью и призмой помѣстить выпуклую линзу съ большимъ фокуснымъ разстояніемъ, устанавливая ее такъ, чтобы она (безъ призмы) давала отчетливое, немного увеличенное изображеніе щели на такомъ разстояніи отъ нея, на какомъ появляется спектръ.

б) Если мы пропустимъ одинъ какой-нибудь цвѣтной лучъ, изъ полученныхъ въ вышеописанномъ опытѣ, еще разъ черезъ призму, то онъ остается неизмѣннымъ. Напротивъ, если всѣ семь цвѣтовъ спектра пропустить черезъ собирательную линзу, то за нею на соотвѣтствующемъ разстояніи получится бѣлое изображеніе. Мы не можемъ дальше разлагать отдѣльные цвѣта спектра; поэтому каждый изъ нихъ носитъ названіе простого (однороднаго) цвѣта. Бѣлый солнечный свѣтъ не только можетъ быть разложенъ на разноцвѣтный свѣтъ, но и снова можетъ быть составленъ изъ послѣдняго. Поэтому бѣлый свѣтъ есть сложный (неоднородный) свѣтъ.

Если на картонный кругъ наклеить семь секторовъ изъ цвѣтной бумаги, каждый изъ которыхъ долженъ возможно точнѣе соотвѣтствовать одному изъ семи цвѣтовъ спектра, какъ по окраскѣ, такъ и по занимаемому имъ пространству (цвѣтная таблица, фиг. 2), и затѣмъ очень быстро вращать такой кругъ, то послѣдній кажется бѣлымъ, такъ какъ при быстромъ вращеніи всѣ цвѣта настолько быстро проходятъ передъ глазомъ, что свѣтовыя впечатлѣнія отъ всѣхъ ихъ почти сливаются.

в) Если при помощи собирательной линзы собрать всѣ цвѣта солнечнаго спектра, исключивъ одинъ изъ нихъ, то получается цвѣтное изображеніе. Если исключить крас-

ный, то изображеніе будетъ зеленымъ; безъ оранжеваго остальные цвѣта даютъ голубой, безъ желтаго фіолетовый.

Если вышеописанный опытъ вращен'я кружка произвести съ цвѣтнымъ кружкомъ, секторы котораго оклеены: *а*) красной и зеленой, *б*) оранжевожелтой и голубой, *в*) желтой и фіолетовой бумагой, то при быстромъ вращеніи кружокъ будетъ казаться бѣлымъ. Напротивъ, кружокъ съ краснымъ и желтымъ секторами при вращеніи кажется оранжевожелтымъ, съ желтымъ и голубымъ—зеленаго цвѣта, съ краснымъ и голубымъ—фіолетоваго.

Соединенія цвѣтовъ, въ которыя входятъ не всѣ цвѣта спектра, даютъ частью цвѣтныя, частью бѣлыя изображенія. Такіе цвѣта, которые дополняютъ другъ друга до бѣлаго цвѣта (напр. красный и зеленый, оранжевый и голубой, желтый и фіолетовый) мы называемъ дополнительными цвѣтами. Поставленные рядомъ дополнительные цвѣта производятъ на глазъ пріятное общее впечатлѣніе. Фиг. 3 раскрашенной таблицы, приложенной въ концѣ книги, дастъ намъ наглядное представленіе о дополнительныхъ цвѣтахъ попарно; фиг. 4 представляетъ цвѣта, смѣшеніе которыхъ даетъ не бѣлую, а цвѣтную окраску *).

Цвѣтное свѣторазсѣяніе имѣетъ мѣсто также при оптическихъ линзахъ (нежелательное явленіе), которыя (согласно §§ 175 и 178) можно разсматривать даже, какъ составленныя изъ ряда призмъ (какъ системы призмъ). Это явленіе, наблюдаемое въ обыкновенныхъ лупахъ, плохо устроенныхъ бинокляхъ въ видѣ цвѣтной каймы около свѣтлыхъ предметовъ, и называется хроматической (цвѣтной) аберраціей. Оно можетъ быть почти совершенно устранено примѣненіемъ особыхъ сочетаній линзъ изъ различныхъ сортовъ стекла (ахроматическія, сложныя линзы).

192. **Цвѣта тѣлъ.** Если при опытѣ Ньютона мы будемъ держать передъ отверстіемъ *S* (фиг. 326) красное стекло, то остается видимой только красная часть спектра; всѣ же прочіе цвѣта исчезнутъ. Слѣдовательно, красное стекло задерживаетъ всѣ лучи солнечнаго свѣта за исключеніемъ красныхъ лучей; оно поглощаетъ прочіе свѣтовые лучи и пропускаетъ только красные лучи. Въ полученномъ такимъ образомъ красномъ свѣтѣ нѣкоторые предметы кажутся болѣе или менѣе красными, другіе же совершенно черными. Всѣ предметы, красные и при дневномъ свѣтѣ, сохраняютъ свой цвѣтъ и при этомъ опытѣ.

Разсмотрите при такомъ «красномъ освѣщеніи» бумагу разныхъ цвѣтовъ! Получите солнечный спектръ на экранѣ изъ красной бумаги! Посмотрите черезъ красное стекло на бумагу разныхъ цвѣтовъ! Что замѣчается при красномъ бенгальскомъ освѣщеніи?

---

*) Эти фигуры представляютъ результатъ смѣшенія цвѣтовъ, котораго можно достигнуть, если двумя проекціонными приборами отбрасывать одноцвѣтные кружки такъ, чтобы они частью налагались другъ на друга.

Если посыпать (порошкомъ) поваренной солью на фитиль спиртовой лампочки, то пламя ея, само по себѣ почти безцвѣтное, окрашивается въ яркій желтый цвѣтъ (пары натрія). При этомъ пламя излучаетъ только одинъ родъ лучей желтаго свѣта. Поэтому въ такомъ свѣтѣ пламени, окрашеннаго поваренной солью, при разсматриваніи въ совершенно темной комнатѣ различныхъ предметовъ, желтыми предетавляются только желтыя и бѣлыя тѣла. Наоборотъ, яркокрасная палочка сургуча кажется пепельносѣрой, голубая, а также черная бумага—совершенно черной; писанныя красками картины имѣютъ видъ рисунковъ тушью. Но какъ только мы зажжемъ отъ спиртовой лампочки спичку, иллюзія исчезаетъ; всѣ тѣла являются со своимъ нормальнымъ цвѣтомъ.

Цвѣта, которые мы наблюдаемъ у различныхъ темныхъ предметовъ въ солнечномъ (дневномъ) свѣтѣ (**цвѣта тѣлъ**), не вызываются самими этими тѣлами; правильнѣе будетъ сказать, что они возникаютъ оттого, что нѣкоторыя изъ этихъ тѣлъ отбрасываютъ (неправильно отражаютъ, разсѣиваютъ) не всѣ падающіе на нихъ цвѣтные свѣтовые лучи, а только нѣкоторые.

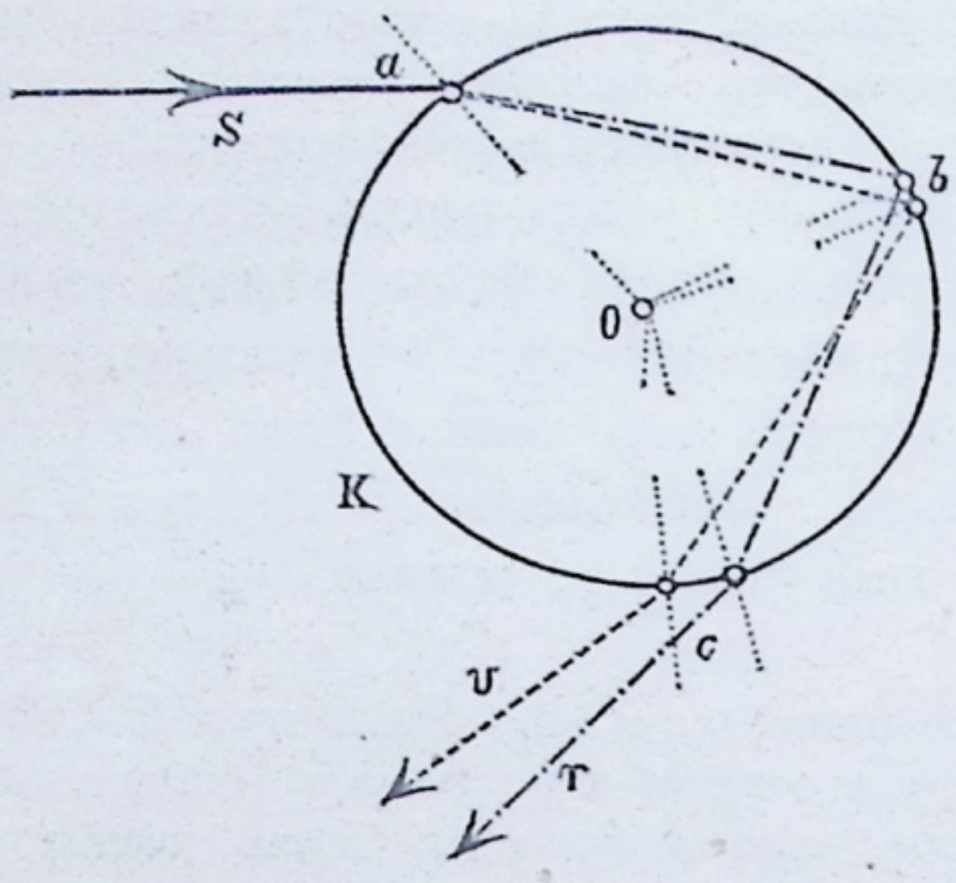
Многія тѣла отбрасываютъ только одинъ родъ лучей свѣта и потому являются окрашенными, смотря по роду отражаемаго ими свѣта, въ тотъ или другой цвѣтъ. Тѣло представляется намъ краснымъ, зеленымъ, голубымъ и т. д., если оно отражаетъ только красный, зеленый, голубой свѣтъ и т. д. Такъ напр., красный листъ пропускной бумаги при раскрываніи тетради отбрасываетъ на сосѣднюю страницу красный свѣтъ. Тѣло представляется бѣлымъ, когда оно отражаетъ всѣ цвѣта спектра равномѣрно, т. е. въ той пропорціи, въ которой они содержатся въ бѣломъ солнечномъ свѣтѣ; наоборотъ, оно черно, если оно поглощаетъ весь падающій на него свѣтъ и никакихъ лучей не отражаетъ. Безцвѣтнымъ какъ вода называется тѣло, которое безъ измѣненія пропускаетъ сквозь себя всѣ цвѣта спектра. Цвѣтъ, который имѣетъ тѣло при дневномъ свѣтѣ называется его естественнымъ цвѣтомъ.

Какого цвѣта должно быть тѣло, отъ котораго въ нашъ глазъ попадаютъ лучи всѣхъ цвѣтовъ, кромѣ одного (напр., зеленаго)? Посмотрите на окрашенное тѣло сначала при дневномъ свѣтѣ, а потомъ при свѣтѣ свѣчи! Въ послѣднемъ случаѣ оно покажется вамъ иначе окрашеннымъ, чѣмъ въ первомъ. Отчего это происходитъ? Голубой цвѣтъ небеснаго свода происходитъ оттого, что атмосферный воздухъ и носящіяся въ немъ частички разсѣиваютъ во всѣ стороны преимущественно голубой свѣтъ. Какого бы цвѣта представлялся намъ небесный сводъ, если бы земля не имѣла атмосферы? Какого цвѣта кажутся намъ далекія горы, когда воздухъ чистъ? Носящіяся въ воздухѣ частички воды и пыли пропускаютъ главнымъ образомъ красные и желтые лучи (этимъ объясняется окраска неба при утренней и вечерней зарѣ). Какое заключеніе о состояніи воздуха можемъ мы вывести изъ яркости утренней и вечерней зари?

193. **Радуга.** Если мы въ солнечное утро на лугу посмотримъ по направленію къ западу, то увидимъ на травѣ множество капель росы, отливающихъ разными цвѣтами. Капля,

при данномъ положеніи нашего глаза кажущаяся намъ красной, принимаетъ послѣдовательно новые цвѣта (оранжевый, желтый, зеленый, синій и фіолетовый), если мы станемъ медленно поворачивать голову въ сторону.

Пусть кругъ K (фиг. 327) представляетъ намъ такую каплю воды. Положимъ солнечный лучъ S падаетъ на эту каплю, напр., въ точкѣ a. При переходѣ изъ воздуха въ воду свѣтовой лучъ будетъ преломляться и приближаться къ перпендикуляру въ точкѣ паденія; въ то же время онъ разложится на составляющіе его цвѣтные лучи. На фиг. 327, чтобы не затемнять его, изображены только два луча спектра. Вблизи точки b часть этихъ лучей отразится; отразившіеся лучи около c снова попадаютъ на преломляющую поверхность раздѣла воды и воздуха и при переходѣ изъ первой во второй претерпѣваютъ преломленіе съ отклоненіемъ отъ перпендикуляра въ точкѣ паденія. Такимъ образомъ, изъ капли выходятъ какъ бы узкій вѣеръ расходящихся лучей, имѣющихъ отъ r до v красный, оранжевый и прочіе цвѣта солнечнаго спектра. Если изъ нихъ въ нашъ глазъ попадаетъ лучъ r, то капля кажется намъ красной; если же глазъ нашъ будетъ постепенно двигатся отъ r къ v, то капля и будетъ послѣдовательно окрашиваться во всѣ цвѣта спектра отъ краснаго до фіолетоваго.

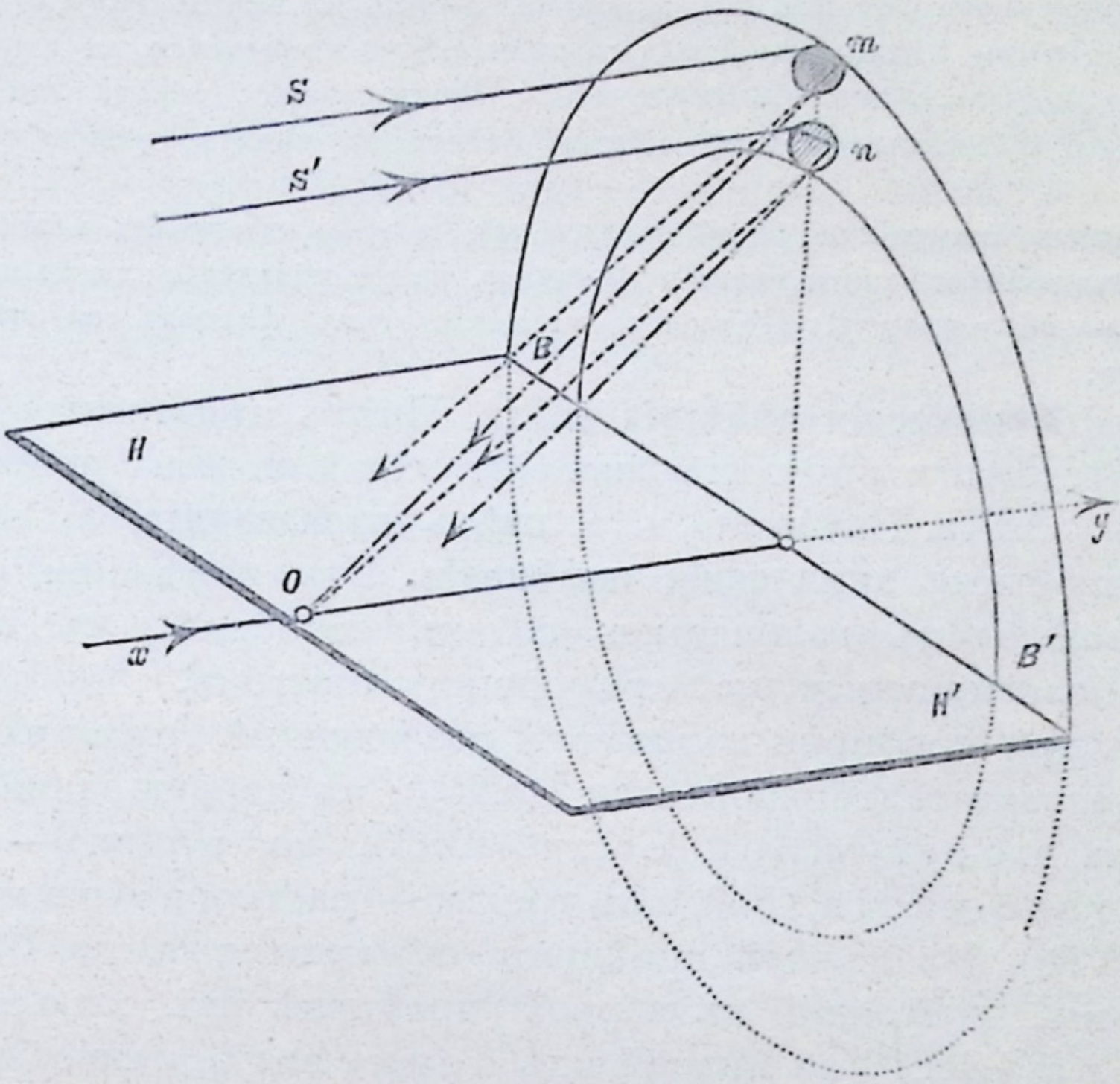


Фиг. 327.

Если утромъ или вечеромъ мы будемъ стоять спиною къ солнцу передъ облаками, изъ которыхъ идетъ дождь, то мы увидимъ разноцвѣтную **радугу**. Внутренній край радуги, имѣющій форму дуги круга, будетъ фіолетоваго цвѣта, внѣшній — краснаго, а между этими цвѣтами расположатся остальные цвѣта спектра. Если при этомъ солнце только что взошло или заходитъ, то дуга радуги имѣетъ форму полукруга; чѣмъ выше солнце надъ горизонтомъ, тѣмъ меньшій отрѣзокъ дуги круга представляетъ радуга.

На фиг. 328 маленькіе кружки m и n изображаютъ двѣ шарообразныхъ дождевыхъ капли. На каждую изъ нихъ падаютъ лучи SS' заходящаго солнца; какъ это представлено на фиг. 327, лучи эти подвергнутся въ каплях разложенію на отдѣльные цвѣта и выйдутъ оттуда расходящимися пучками. Если въ нашъ глазъ O (фиг. 328) изъ верхней капли попадаютъ самые нижніе (красные) лучи, то всѣ остальные, выше расположенные

лучи этой капли пойдутъ мимо глаза, выше него; глазу эта капля *m* будетъ представляться красной. Если изъ нижней капли *n* въ глазъ *O* попадаетъ самый верхній (фіолетовый) лучъ, то всѣ остальные лучи пойдутъ мимо глаза, ниже него; поэтому глазу эта капля *n* покажется фіолетовой. Если мы представимъ себѣ прямую *xy*, проходящую черезъ нашъ глазъ и солнце (ее можно считать параллельной лучамъ *S* и *S'*) и станемъ вращать



Фиг. 328.

весь рисунокъ около этой прямой, какъ около оси, то капли *m* и *n* опишутъ на дождевомъ облачкѣ дугу круга *BB'*, которая содержитъ всѣ капли, имѣющія по отношенію къ нашему глазу такое же положеніе, какъ и капли *m* и *n*, и потому, посылающія въ глазъ только красный и соотвѣтственно только фіолетовый лучи. Такимъ образомъ, радуга на внѣшнемъ краю бываетъ красная, а на внутреннемъ—фіолетовая. Между обѣими каплями *m* и *n* расположены другія капли, которыя представляются послѣдовательно оранжевыми, желтыми и т. д. Этимъ объясняется круглая форма радуги, Ясно также, что прямая *xy* должна проходить черезъ центръ радуги. При восходѣ и закатѣ солнца центръ радуги лежитъ на горизонтѣ *HH'*; тогда радуга является полукругомъ. Радуга представляетъ тѣмъ меньшую дугу круга, чѣмъ выше стоитъ солнце.

По большей части мы одновременно видимъ двѣ концентрическія радуги, изъ которыхъ наружная бываетъ гораздо слабѣе; поэтому довольно часто мы ея не замѣчаемъ. Послѣдовательность цвѣтовъ въ такой второй радугѣ обратная. Поэтому мы различаемъ главную и побочную радуги; первая имѣетъ меньшій, второй—большій радіусъ. Побочная радуга образуется лучами, которые входятъ въ дождевыя капли снизу и внутри послѣдней претерпѣваютъ двукратное отраженіе.

Видите ли вы когда-нибудь радугу (или часть ея) въ освѣщенной солнцемъ водяной пыли фонтана или водопада? Можно ли видѣть радугу въ полдень (лѣтомъ)? Почему нѣтъ? Зимой радуга лишь рѣдко появляется, но тогда можетъ быть и въ полдень. Какъ объяснить это? Почему радуга всегда имѣетъ форму дуги круга? Объясните почему каждый человѣкъ видитъ свою (особую) радугу?

Вышеописанное объясненіе радуги не можетъ объяснить нѣкоторыя стороны этого великолѣпнаго явленія природы, напр. появленіе дальнѣйшихъ цвѣтовъ за фіолетовымъ. Полнаго объясненія этихъ фактовъ мы здѣсь не можемъ дать.

194. **Химическія дѣйствія свѣта.** Цвѣтъ нѣкоторыхъ матерій, окраска стѣнъ и проч. измѣняются, если они долго подвергаются дѣйствію свѣта. Замѣчено, что **свѣтъ производитъ** въ этихъ тѣлахъ извѣстныя **химическія измѣненія.** Эти измѣненія наиболѣе замѣчательны въ галоидныхъ соляхъ серебра*), съ которыми можно познакомиться изъ слѣдующихъ опытовъ.

Въ три пробирки наливаютъ разведенный растворъ ляписа (азотно-серебряной соли $AgNO_3$); въ первую прибавляютъ раствора поваренной соли ($NaCl$), во вторую — раствора іодистаго калія (KJ), а въ третью — раствора бромистаго калія (KBr). Въ каждой пробиркѣ образуется тогда бѣловатый осадокъ, состоящій въ первой пробиркѣ изъ хлористаго серебра ($AgCl$), во второй изъ іодистаго серебра (AgJ) и въ третьей — изъ бромистаго серебра ($AgBr$). Поставимъ теперь всѣ три пробирки на окно (по возможности на прямой солнечный свѣтъ). По истеченіи короткаго времени осадокъ чернѣетъ на обращенной къ свѣту сторонѣ. Слѣдовательно, галоидныя соли серебра: хлористое, бромистое и іодистое серебро чернѣютъ, если ихъ подвергнуть дѣйствію солнечнаго свѣта. А именно: свѣтъ разлагаетъ эти тѣла и выдѣляетъ изъ нихъ часть металлическаго серебра.

Прильемъ теперь въ каждую изъ вышеупомянутыхъ пробирокъ съ почернѣвшими галоидными солями серебра концентрированнаго (крѣпкаго) раствора сѣрноватистонатрі-

---

*) Галоидными солями серебра называются соединенія серебра съ хлоромъ, бромомъ, іодомъ или фторомъ. Прим. перев.

евой соли (Na_2SO_3) и въ теченіе нѣкотораго времени будемъ встряхивать ихъ для лучшаго перемѣшиванья содержимаго; тогда осадокъ растворится и жидкость станетъ прозрачной, какъ вода, какой была въ началѣ опыта. Значитъ, въ концентрированномъ растворѣ сѣрноватистонатріевой соли галоидныя соли серебра растворимы.

195. **Фотографія**. Разсмотрѣнныя въ предыдущемъ параграфѣ химическія явленія лежатъ въ основѣ **фотографіи** (свѣтописи). Сущность послѣдней выясняется намъ изъ нѣкоторыхъ простыхъ опытовъ.

Наклеимъ на стеклянную пластинку какую-либо фигуру, вырѣзанную изъ черной бумаги, напр. звѣздочку. Въ мало освѣщенномъ углу комнаты подложимъ подъ стеклянную пластинку кусокъ бумаги, который съ одной стороны покрытъ слоемъ коллодія или желатина, содержащимъ очень тонко измельченное хлористое серебро (фотографическая бумага). Затѣмъ положимъ стеклянную пластинку съ находящейся подъ ней фотографической бумагой на окно и, положивъ на углы пластинки тяжелые предметы, лишимъ ее возможности сдвигаться съ той части бумаги, на которую она положена. Свѣтъ проникаетъ черезъ всѣ прозрачныя мѣста пластинки и заставляетъ находящійся подъ послѣдними слой хлористаго серебра чернѣть все больше и больше. Напротивъ, вырѣзанная изъ черной бумаги фигура задерживаетъ лучи и не пропускаетъ ихъ въ лежащій подъ нею слой хлористаго серебра, такъ что послѣднее въ этихъ мѣстахъ остается бѣлымъ. Вслѣдствіе этого черезъ нѣкоторое время мы получаемъ бѣлую фигуру на темномъ фонѣ. Если безъ предосторожностей выставимъ эту фигуру на дневной свѣтъ, то она должна исчезнуть, такъ какъ части бумаги, оставшіяся до того времени бѣлыми, почернѣютъ. Если же мы, насколько возможно, предохраняя фотографическую бумагу отъ дѣйствія дневного свѣта, опустимъ ее въ растворъ сѣрноватистонатріевой соли, то все неразложившееся хлористое серебро растворяется и изображеніе какъ бы укрѣпляется на фотографической бумагѣ (фиксируется). Поэтому, хорошо промывъ фотографическую бумагу съ изображеніемъ въ указанномъ растворѣ, мы можемъ затѣмъ выставлять ее на дневной свѣтъ не опасаясь измѣненій въ ней. Такое ставшее прочнымъ изображеніе является обратнымъ оригиналу, по отношенію къ распредѣленію на немъ свѣтлыхъ и темныхъ мѣстъ, подобно тому, какъ монета и ея гальванопластическій снимокъ

являются взаимно обратными по отношенію къ возвышеніямъ и углубленіямъ. Поэтому такое изображеніе называется негативнымъ изображеніемъ, или негативомъ. Затѣмъ, чтобы сдѣлать этотъ негативъ прозрачнымъ, мы пропитываемъ его растительнымъ масломъ и повторяемъ предыдущій опытъ, но для новаго опыта беремъ уже не стеклянную пластинку съ наклеенной фигурой (т. е. не оригиналъ), а негативъ. Теперь мы получаемъ изображеніе, сходное съ оригиналомъ по распредѣленію свѣтлыхъ и темныхъ мѣстъ; такое изображеніе оказывается позитивнымъ изображеніемъ или позитивной копіей.

Подобно этому опыту происходитъ и процессъ, при помощи котораго фотографъ получаетъ фотографическій снимокъ. Поступаютъ при этомъ слѣдующимъ образомъ. Прежде всего направляютъ фотографическій аппаратъ, представляющій собой не что иное, какъ камеру-обскуру, сходную съ изображенной на фиг. 306, такъ, чтобы отчетливое изображеніе фотографируемаго предмета получилось какъ разъ на матовой стеклянной пластинкѣ *A*, находящейся въ задней стѣнкѣ камеры. Затѣмъ защищаютъ линзу отъ проникновенія въ нее свѣта, надѣвая на нее плотно пригнанный, закрытый спереди колпакъ изъ кожи или картона (затворъ), а вмѣсто матовой стеклянной пластинки вдвигаютъ въ рамку задней стѣнки такъ называемую кассетку, представляющую плоскій, со всѣхъ сторонъ закрытый ящичекъ; въ послѣднемъ находится стеклянная пластинка, подобно фотографической бумагѣ въ предыдущихъ опытахъ покрытая бромистымъ серебромъ (сухая пластинка). Свѣточувствительный слой сухой пластинки долженъ приходиться какъ разъ на то мѣсто, гдѣ раньше была матовая стеклянная пластинка. Затѣмъ сначала вытаскиваютъ переднюю стѣнку кассетки, открываютъ затворъ аппарата на нѣсколько мгновеній и затѣмъ тщательно закрываютъ какъ затворъ, такъ и кассетку, снова вдвигая въ нее переднюю стѣнку. Снимокъ сдѣланъ. Теперь вынимаютъ кассетку и переносятъ ее въ особое помѣщеніе (темную комнату), слабо освѣщенную только окномъ съ темнокраснымъ стекломъ или же фонаремъ съ темнокрасными стеклами. Какъ извѣстно, темнокрасный свѣтъ не вызываетъ измѣненій въ вышеуказанныхъ соляхъ серебра. Въ такой темной комнатѣ открываютъ кассетку и сухую пластинку, на которой нельзя еще замѣтить и слѣда изображенія, опускаютъ въ плоскую ванночку съ такъ называемымъ проявителемъ (растворомъ желѣзнаго купороса, пирогалловой кислоты и проч.). Жидкость эта имѣетъ свойство разлагать (возстановлять) бромистое серебро въ тѣхъ мѣстахъ, которыя раньше были освѣщены, т. е. выдѣлять изъ бромистаго серебра металлическое серебро. Отъ этого мѣста, подвергшіяся при снятіи изображенія дѣйствію свѣта все больше и больше чернѣютъ, и при томъ тѣмъ сильнѣе,

чѣмъ свѣтлѣе были соотвѣтствующія мѣста оригинала. Когда изображеніе достаточно проявилось, пластинку хорошо промываютъ и погружаютъ въ закрѣпляющую фиксирующую ванну, т. е. въ растворъ сѣрноватистонатріевой соли. Послѣдній растворяетъ все неразложенное бромистое серебро и удаляетъ его изъ пластинки. Затѣмъ ее хорошенько промываютъ, и негативъ готовъ. Такой негативъ изображенъ на фиг. 329, I. Когда негативъ высохнетъ, на фотографической

I. II.

Фиг. 329.

бумагѣ совершенно такъ же, какъ и при вышеописанномъ опытѣ, получаютъ позитивныя копіи его, которыя, конечно, также необходимо фиксировать (фиг. 329, II). Существуютъ способы, позволяющіе придавать такимъ копіямъ разнообразную окраску.

Особенно широко примѣняется фотографія для дешеваго изготовленія портретовъ. Цѣнныя услуги оказала она при изслѣдованіи чужихъ странъ. Съ ея помощью изготовлены точнѣйшія карты звѣзднаго неба. Въ настоящее время фотографія играетъ настолько большую роль въ наукѣ и искусствѣ, что нѣтъ никакой возможности перечислить всѣ ея примѣненія. Слѣдуетъ еще упомянуть, что хорошіе снимки можно получать не только съ помощью солнечнаго свѣта, но и при искусственномъ освѣщеніи, особенно при магніевомъ и электрическомъ свѣтѣ (напр., снимки пещеръ и т. п.). Фотографическія сухія пластинки изготовляются въ настоящее время настолько свѣточувствительныя, что продолжительность сниманія можетъ быть сокращена до весьма малой доли секунды. Благодаря этому можно фотографировать скачущихъ лошадей, летящихъ птицъ, даже летящіе артиллерійскіе снаряды и пули (моментальная фотографія).

Алфавитный указатель.

Абсолютный вѣсъ 11.
Аккомодація 273.
Аккумуляторъ 137.
Акустика 211.
Амперметръ 136.
Амперово правило 135.
Амперъ (единица силы тока) 134.
Анероидъ (барометръ) 44.
Анодъ 125.
Ареометръ 37.
Астатическая стрѣлка 99.
Атвудова машина 161.
Атмосферное давленіе 40.
Атмосферное электричество 121.
Атмосферные осадки 84.

Барометръ 44.
Батарея 126.
Безменъ 15, 200.
Безразличное равновѣсіе 13.
Бинокль 279.
Близорукость 274.
Блокъ 16, 201.
Бойля-Маріотта законъ 48.

Вертикальное направленіе 10.
Винтовой прессъ 207.
Винтъ 206.
Вогнутыя линзы 268.
Вогнутыя зеркала 245.
Вода, разложеніе ея 132.
Воздушное электричество 121.
Воздушный звучащій столбъ 222.
Воздушные насосы 51.
Воздушный шаръ 56.
Волны звуковыя 215.
Волосныя (капиллярныя) трубки 33.
Волшебный фонарь 267.
Вольта элементъ 138.
Воротъ 204.
Всасывающій насосъ 49.
Выпуклыя зеркала 252.
Выпуклыя линзы 262.
Высота (звука) тона 216.

Вѣсъ абсолютный 11.
Вѣсъ удѣльный 17.
„ воздуха 39.
Вѣсы 14, 199.

Газообразныя тѣла 2, 22.
Галилеева труба 279.
Гальваническое электричество 125.
Гальваническіе элементы 139.
Гальванометръ 136.
Гальванопластика 132.
Гальваноскопъ 135.
Гейслеровы трубки 119.
Героновъ шаръ 45.
Гидравлическій прессъ 26.
Гидростатическій парадоксъ 30.
Гидростатическое давленіе 27.
Гидростатическіе вѣсы 34.
Главный лучъ 263.
Глазъ 270.
Голосовой органъ 224.
Гроза 121.
Громоотводъ 122.
Громъ 121.

Давленіе атмосферы 40, 42.
Давленіе на дно сосуда 28.
„ на стѣнки сосуда 30.
Дальнозоркость 274.
Движеніе 5, 153, 155.
Движеніе прямо-и криволинейное 153.
„ ускоренное и замедленное 155.
„ равномѣрно ускоренное и неравн. уск. 156, 157.
Движеніе равном. замедл. и неравн. замедл. 156.
Движеніе брошеннаго тѣла 172, 173.
„ по наклонной плоскости 178.
„ маятника 183.
„ по кругу 187, 189.
Динамо электрич. машина 149.
Дополнительные цвѣта 282.
Дуговая лампа 131.
Дѣлимость 20.

Единица длины 2.
„ вѣса 11.
„ объема 1.
„ теплоты 66.

Жидкія тѣла 2, 22.

Законъ равном. распростр. давл. въ жидк. 25.
Законъ инерціи 7, 154.
„ маятника 184.
„ Архимеда 34, 55.
„ Бойля-Маріотта 48.
„ рычага 14, 197.
„ Эрштеда 134.
„ отраженія 211, 241.
„ паденія 157, 159, 160.
Заря 283.
Затменіе 235, 236.
Звукъ 211.
Звучащіе столбы воздуха 222.
Звучащія пластинки и бруски 221.
Земной магнитизмъ 99.
Зеркала плоскія 240.
„ сферическія 245.
Зрачекъ 270.
Зрительныя трубы 277.
Зрѣніе двумя глазами 272.

Изображенія, даваемыя линзами 265, 269
„ въ вогнутыхъ зеркалахъ 251.
„ въ выпуклыхъ „ 254.
Изоляторы 105.
Индукціонная катушка Румкорфа 148.
Индукціонные токи 147.
Индукція магнитная 93.
Индукція электрическая 110.
Инерція 6.
Искра замыканія 130.
„ размыканія 130.
„ электрическая 118.
Испареніе 79.
Источники тепла 88.
Источники свѣта 231.

Калейдоскопъ 244.
Калорія 66.
Камера-обскура 237.
Капиллярность 33.
Картезіанскій водолазъ 36.
Катарракта 275.
Катодъ 125.
Килограммометръ 208.
Кипѣніе (точка кипѣнія) 76.
Клавиша 144.
Колебательное движеніе 183.
Компасъ 98.
Конвекція 70.
Конденсаторъ 118.
Конденсація 82.
Кондукторъ 114.
Консонасъ 218.

Лампочки накаливанія 129.
Лейденская банка 114.
Лекланше элементъ 139.
Линзы 262.
Линія силъ (магнитная) 95.
Локомобиль 87
Локомотивъ 87.
Лотъ (отвѣсъ) 10.
Лошадиная сила 209.
Луна 268.
Лученспусканіе тепловое 71.

Магдебургскія полушарія 54.
Магнитное поле 91.
Магнитная индукція 93.
„ стрѣлка 90, 99.
Магнитное склоненіе 97.
„ наклоненіе 98.
„ дѣйствіе электрич. 121.
Магнитные полюсы 90.
Магнитныя силовыя линіи 92, 95.
Магнитные земные полюсы 99.
Манометръ 49.
Масса 11, 163.
Машины 85, 209.
Маятникъ 183.
Маятникъ электрическій 101.
Мензурка 3.
Микроскопъ простой 268.
„ сложный 275.
Миражъ 260.
Молекула 21.
Молекулярные промежутки 21.
Молекулярныя силы 21.
Молнія 121.
Монохордъ 218.
Морзе, телеграфн. аппаратъ 143.

Нагнетательный насосъ (воздуш.) 50, 51.
Наклонная плоскость 178, 205.
Наклоненіе магнитное 98.
Насосы (воздушные, водяные) 49, 53.
Непостоянные элементы 138.
Непроводники электричества 105.
„ теплоты 68.
Непроницаемость 3.
Нормальная дальность зрѣнія 273.
Нормальный глазъ 274.
Нормальная свѣча 239.

Объективъ 276.
Окуляръ 276.
Омъ (единица сопротивленія) 136.
Оптическій центръ линзъ 263.
„ „ глаза 271.
Органныя трубы 223.
Остаточный магнитизмъ 140.
Остріе 112, 119.

Отвердѣваніе 75.
Отвѣсъ 10
Отдача (реакція) 32.
Отзывчивость звуковая 229.
Отраженіе при ударѣ 211.
„ звука 226.
„ свѣта 240.
Охлажденіе при испареніи 81.
Очки 274.

Паденіе 156.
Папиновъ котелъ 79.
Парабола (траекторія брош. тѣла) 174.
Парадоксъ гидростатическій 30.
Параллелограмъ движеній, скоростей и ускореній 170.
Параллелограмъ силъ 175.
Паровая машина 85.
Паръ, упругость его 85.
Передача электричества, зарядъ 116.
Передача давленія въ жидкости 25.
Пистолетъ электрическій 119.
Пишущій аппаратъ (телеграфный) 143.
Плаваніе тѣлъ 35.
Плавленіе 73.
Плоскопараллельныя пластинки 260.
Плотность и ея опредѣленіе 18, 37.
Поверхность жидкости 25.
Подзорная труба 278.
Подъемная сила въ жидкости 34.
„ „ въ воздухѣ 56.
Показатель преломленія 257.
Полиспастъ 202.
Полное внутреннее отраженіе 259.
Полуденная линія 96.
Полупроводники электричества 104.
Полутѣнь 233.
Полюсы магнита 90.
Поляризація электрическая 137.
Полярность 91.
Поры 21.
Постоянные элементы 139.
Потенціалъ 107.
Преломленіе свѣта 255.
Призма 261.
Проводники электричества 104.
„ тепла 68.
Протяженность 1.
Пружинные вѣсы 24.
Прямолин. распростран. свѣта 231.
Путь 5.

Работа 208.
Равнодѣйствующая сила 169.
Равномѣрное движеніе 4.
Равноплечные вѣсы 14.
Радуга 284.
Разложеніе движеній 171.
„ силъ 177.
Разрядникъ 116.
Разсѣивающія зеркала 252.
Разсѣивающія линзы 268.
Разсѣиваніе свѣта 280.
Распространеніе свѣта 231.
„ звука 213.
Расширеніе тѣлъ отъ нагрѣванія 58.
Резонансъ 228.
Рельефное (тѣлесное) видѣніе предмета 272.
Ртутный дождь 54.
Рычагъ 14, 197.
Рычажные вѣсы 199.

Свѣтъ 231.
Свѣторазсѣяніе 280.
Сегнерово колесо 32.
Серебряныя соли (дѣйствіе свѣта на нихъ) 286.
Сжатіе земли 189.
Сила, опредѣляющіе ее элементы 7, 8, 166, 167, 168.
Сила тяжести 10, 163.
„ тока 124.
„ освѣщенія 238.
„ свѣта 239.
„ звука 215.
Сила, масса и ускореніе 163.
Силовыя линіи 92, 95.
Сирена 216.
Сиффонный барометръ 44.
Сиффонъ 54.
Скіоптиконъ 267.
Скорость 5, 153, 155.
Скорость свѣта 232.
„ звука 225.
Сложеніе силъ 175.
Слуховая труба 228.
Собирательныя линзы 263, 268.
„ зеркала 252.
Сообщающіяся сосуды 32.
Сопротивленія движенію 165, 181.
Состояніе вещества 2, 22.
Спектръ 280.
Спиртометръ 38.
Стереоскопъ 272.
Струны звучащія 218.
Стереоскопъ 272.
Сцѣпленіе 21
Сѣверное сіяніе 123.
Сѣтчатая оболочка (сѣтчатка) 270.

Таблица мѣръ XI.
Телеграфъ Юза 145.
„ Морзе 143.
Телескопъ Кеплера 278.
Телефонъ 151.
Темныя тѣла 231.
Температура 63.
Тепловыя дѣйствія тока 129.
Теплота парообразованія 78.
Термометръ 58, 61.
Термоскопъ 61.
Тонъ 218.

Торичелли опытъ 42.
Треніе 180.
Трубы съ язычкомъ и безъ 222, 223.
Точка плавленія 73.
Точка кипѣнія 78.
Тѣнь и полутѣнь 233.
Тяжесть 10.

Уголъ зрѣнія 272.
Уголъ полнаго внутрен. отраженія 259.
Ударъ 210.
Удлиненіе отъ теплоты 58.
Упругость газовъ 39.
Упругія тѣла 24.
Уровень 25.
Ускореніе 156, 163.
Устойчивое равновѣсіе 13, 197.
Устойчивость 193.
Ухо 230.
Ушная раковина 230.

Фата-моргана 260.
Физіологическія дѣйствія тока 120.
Флейты (звучащія трубы) 222.
Фотографія 287.
Фотометръ 239.

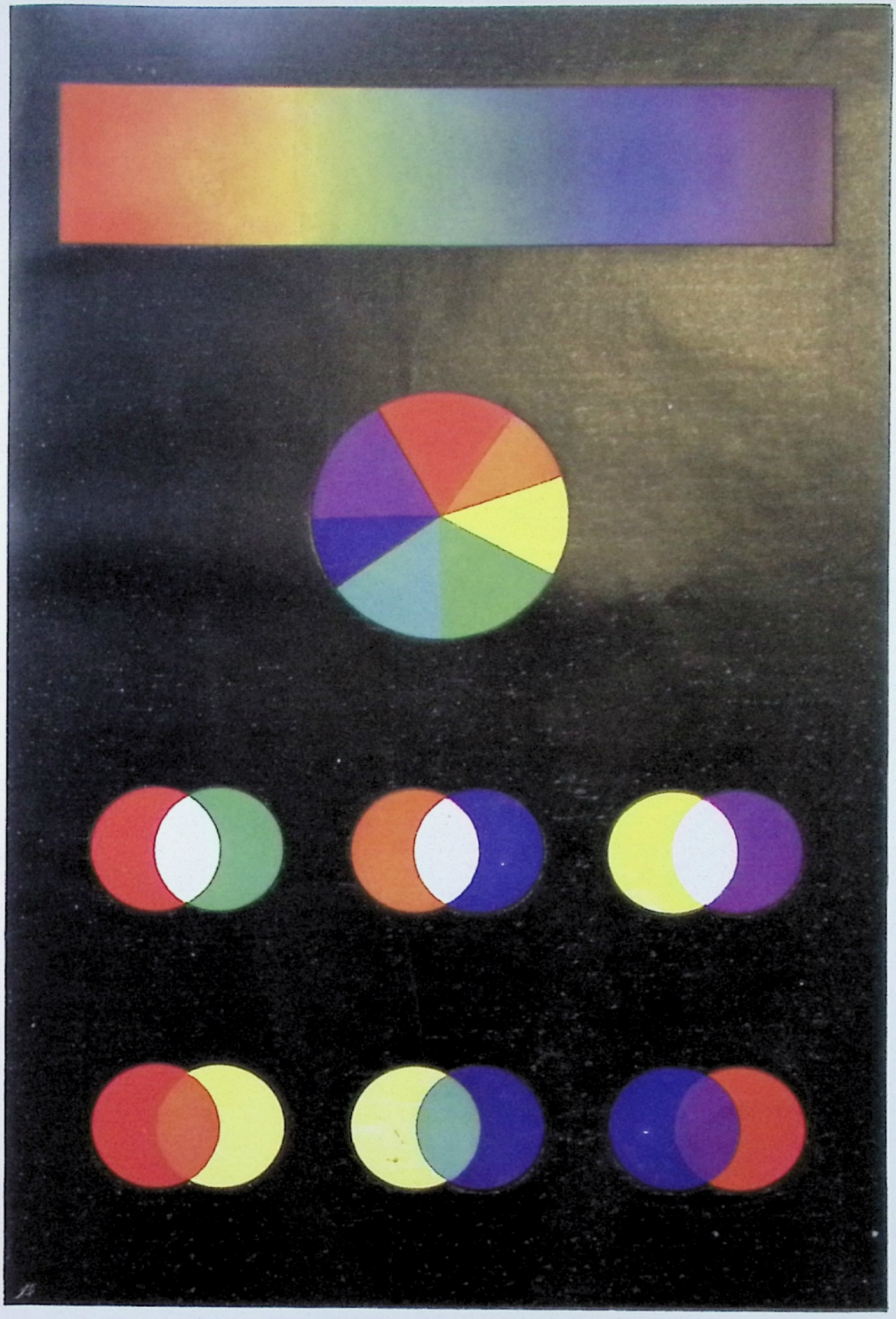
Химическія дѣйствія тока 131.
„ „ свѣта 286.
Химическая гармоника 222.
Хладніевы фигуры 221.
Хроматическая аберація 282.
Хромовый элементъ и баттарея 128.

Цвѣта спектра 280.
„ тѣлъ 283.
Центробѣжная сила 187.
Центробѣжная машина 188.
Центръ тяжести 12, 192.

Частицы 21.
Частичныя силы (молекулярныя) 21.
Часы съ маятникомъ 185.
Часы карманные 186.
Чувствительность вѣсовъ 200.

Шумъ 212.

Электрическій токъ 124.
„ телеграфъ 141.
„ звонокъ 142.
„ зарядъ 100.
„ разрядъ 116.
„ кондукторъ 114.
„ потенціалъ 107.
„ конденсаторъ 118.
„ маятникъ 101.
Электрическая лампа накаливанія 129.
„ дуговая лампа 131.
„ передача силы 150.
„ машина 113.
Электрическое вліяніе 110.
„ сопротивленіе 136.
Электризація при прикосновеніи 101.
„ „ треніи 100.
Электроемкость 108.
Электролизъ 132.
Электромагнитъ 140.
Электропроводность 104.
Электроскопъ 102.
Электрофоръ 112.
Электрофорная машина 115.
Элементы гальваническіе 125, 138, 139.
Эхо 226.



1

2

3

4

„Sotrudnik“ — Kiew.

Изданія «СОТРУДНИКА» для средн. учебн. завед. (и гор. училищъ).

И. М. Кукулеско.—Элементарный курсъ химіи. Съ 153 рисун. въ текстѣ.—**2-ое** изд.—ц. 80 к.

-е изд. Учен. Комит. Мин. Нар. Просв. **допущено** въ качествѣ **учебнаго руководства** для средн. уч. зав. (реальн. учил.).
(Опр. за № 18122 Ж. М. Н. Пр., іюль 1909 г.)

И. М. Кукулеско.—Элементарный курсъ качественнаго анализа для средн. учебн. завед. **2-ое** изд.—ц. 60 коп.

Ученымъ Ком. Мин. Нар. Пр. **допущено** въ качествѣ учебнаго пособія для среднихъ учебныхъ заведеній.
[Ж. М. Н. П. Августъ 1909 г.]

И. М. Кукулеско.—Качественный и количественный анализъ для коммерч. училищъ. Съ 54 рис. въ текстѣ.—ц. 70 к.

С. Ѳ. Лебединцевъ.—Курсъ алгебры для среднихъ учебн. заведеній. Ч. I.—ц. 80 к. Ч. II.—ц. 1 р. 10 к.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. **допущ.** въ качествѣ **учебнаго руководства** для среднихъ учебныхъ заведеній.
(Опр. за № 11883 отъ 12 апрѣля 1910 г.

Учен. Ком. Мин. Торг. и Пр. **допущенъ** въ качествѣ **учебнаго руководства** для коммерческихъ училищъ.
(Опр. за № 2745 отъ 31 мая 1910 г.)

С. Ѳ. Лебединцевъ.—Сборникъ задачъ и упражненій по курсу алгебры. Ч. I.—ц. 50 к.

И. Слетовъ.—Учебникъ прямолинейной тригонометріи. Составл. по индуктивн. методу. Со мног. черт. въ текстѣ.—ц. 80 к.

И. и Н. Володкевичъ.—Курсъ практическихъ занятій по физикѣ. Со многими рисунками въ текстѣ.—ц. 1 р.

Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. **допущенъ** въ качествѣ необязательнаго пособія для среднихъ учебныхъ заведеній
(Опр за № 33493 отъ 30 ноября 1910 г.).

А. Филипповъ.—Введеніе въ алгебру. Курсъ 3-го класса среднихъ учебныхъ заведеній.—ц. 40 к.

И. Астрябъ.—Наглядная геометрія (начальный курсъ геометріи). Съ 190 рис. **2-е** исправлен. и дополн. изд.—ц. 80 к.

Д-ръ С. Абрамовъ.—Начальный курсъ гигіены. Съ 95 рис. въ текстѣ.—ц. 60 к.

Сулжинскій и Нейкирхъ.—Историческая хрестоматія. Ч. I-я. Древняя исторія.—ц. 1 р. 50 к.

Учен. Ком. Мин. Нар. Пр. **допущенъ** въ кач. необ. учебнаго пособія для среднихъ учебныхъ заведеній.

Подробный каталогъ изданій «СОТРУДНИКА» высылается безплатно.